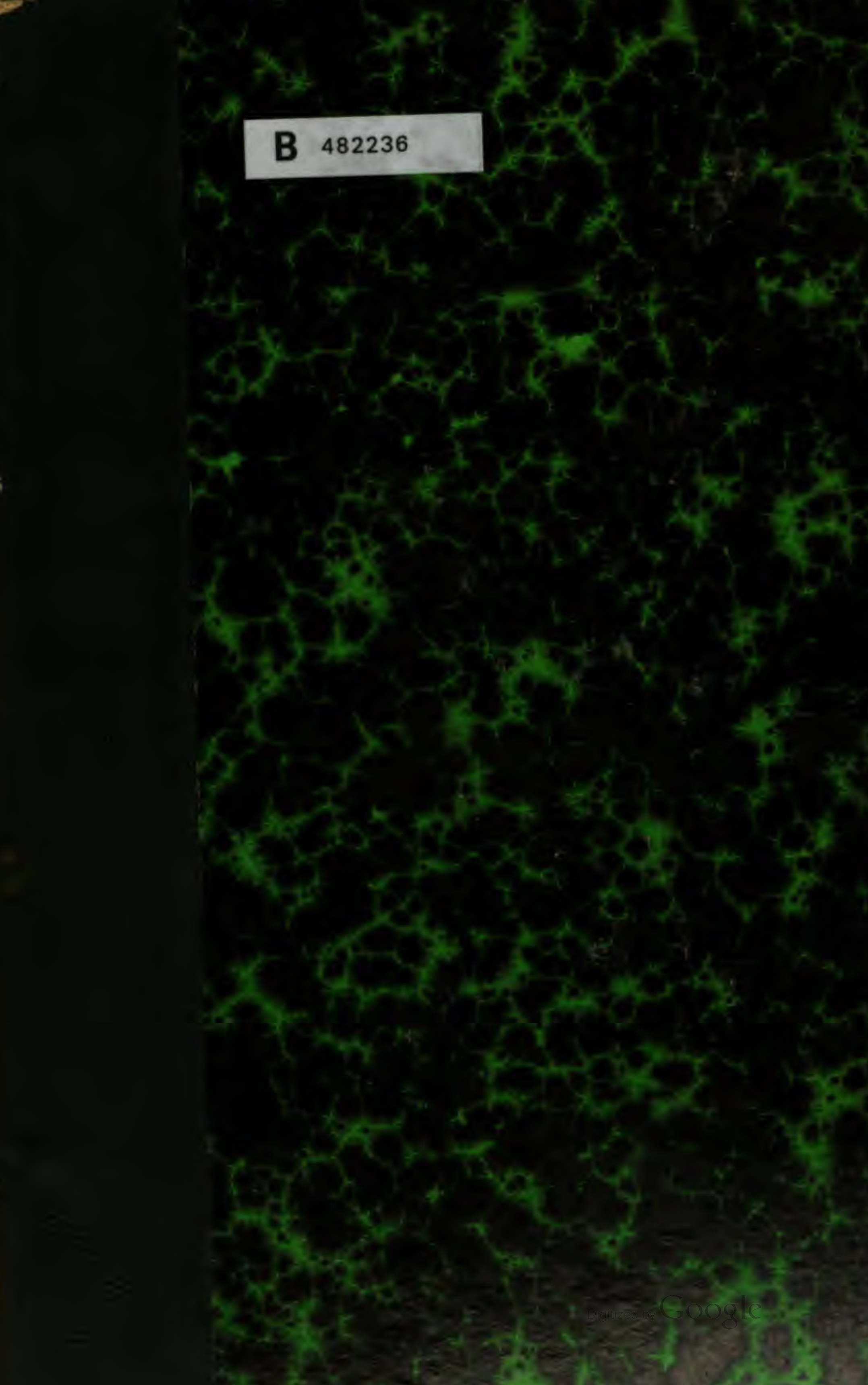
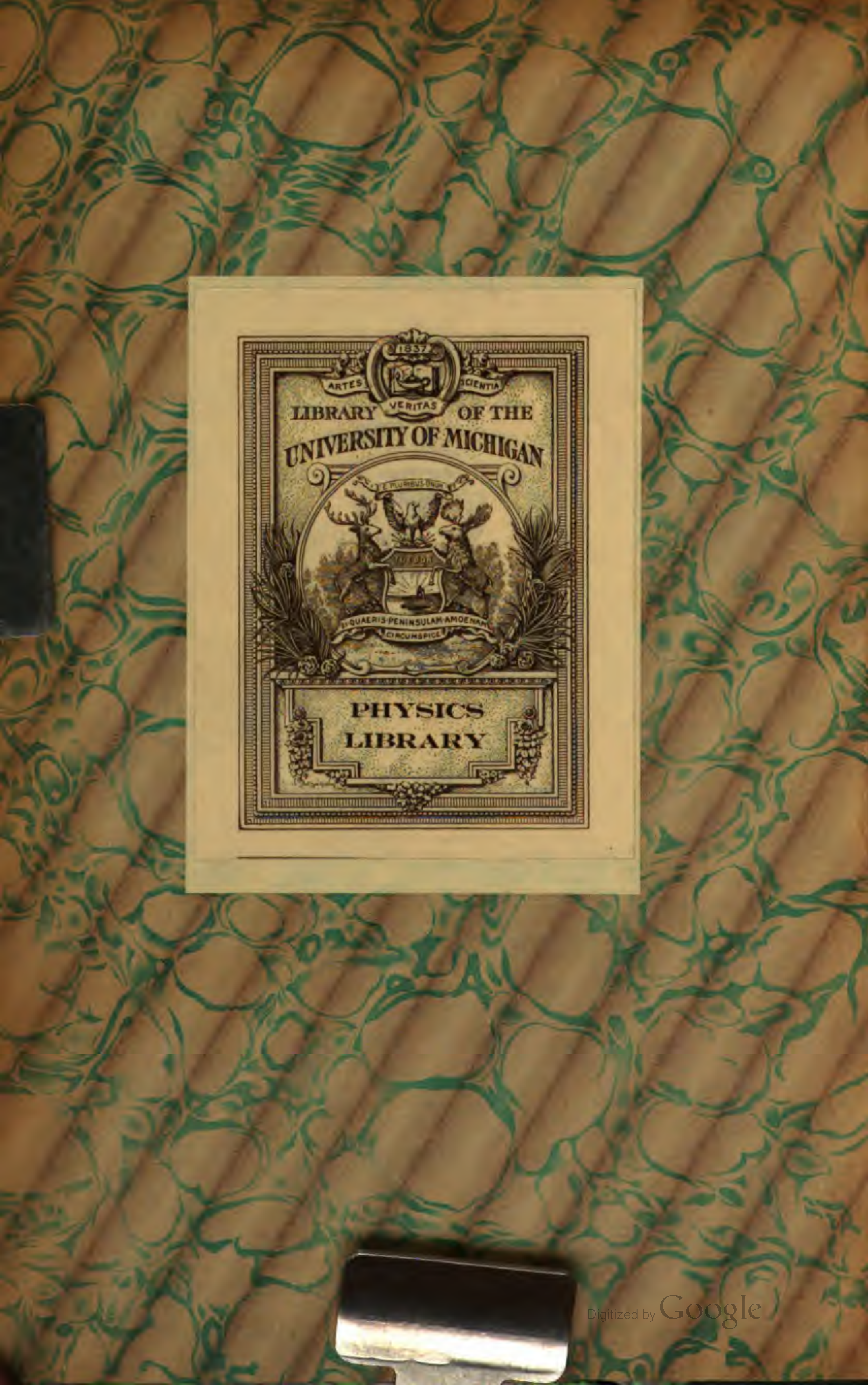


B 482236


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
PHYSICS
LIBRARY



SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE

ANNÉE 1902.

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

BULLETIN DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE

PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1902.

PARIS,

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES, 44.

—

1902

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 17 JANVIER 1902

PAR M. H. PELLAT

Président sortant de la Société française de Physique.

MESSIEURS,

Avant de quitter le fauteuil où votre bienveillance m'a appelé, je vais, suivant l'usage, vous retracer en quelques mots l'histoire de notre Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

Dans une Société qui compte plus de 900 membres, il faut bien s'attendre malheureusement à voir disparaître par décès quelques-uns d'entre eux chaque année, et leur nombre doit aller en augmentant jusqu'à une certaine limite à mesure que la Société avance en âge. Nous avons ainsi perdu, en 1901, quinze de nos confrères, auxquels j'adresse un dernier adieu; ce sont : MM. Paul Vacher, chirurgien-dentiste de la Faculté de Médecine de Paris ; Jules Chautard, doyen honoraire de la Faculté des Sciences de l'Université catholique de Lille, ancien doyen de la Faculté des Sciences de Nancy; Joseph Merle, industriel à Grasse; Xambeu, principal honoraire du collège de Saintes, ancien membre du conseil de la Société; Rowland, professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore, membre honoraire de notre Société; Yves de Kérangué, capitaine en retraite à Kernouël, près Paimpol; Hirsch, professeur au Conservatoire national

des Arts et Métiers; Wunschendorff, inspecteur général des Postes et Télégraphes; Giroux, ingénieur opticien à Paris; Bournique, professeur au lycée Janson-de-Sailly; le Dr Hans Luggin, à Karlsruhe; Edelberg, ingénieur opticien à Kharkoff; Baron, directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes; Rudolph Kœnig, docteur en philosophie, constructeur d'instruments d'acoustique; Lelorieux, professeur au lycée Louis-le-Grand.

Il faut ajouter, pour avoir le total de nos pertes, neuf démissions; il y aura donc vingt-quatre noms qui auront disparu de la liste des membres, cette année. Mais, en revanche, nous avons eu cinquante et une nouvelles admissions; ce qui porte le nombre des membres, au 1er décembre 1901, à 947, en augmentation de 27 sur le nombre à la date correspondante de 1900.

Vous le voyez, Messieurs, malgré l'âge de notre Société, elle est encore dans la période de croissance. Faisons tous nos efforts pour lui conserver longtemps encore ce caractère juvénile.

Nos finances sont en bon état. Certes, nous ne roulons pas sur l'or, — il ne faut pas qu'une société roule sur l'or pour être active, pas plus que la jeunesse; — mais enfin nous avons placé, en obligations de chemins de fer, une somme dépassant de 4.777 fr. 25 celle qui est exigée par nos statuts, et nous n'avons aucune dette. Qu'il me soit permis, à ce propos, de remercier bien vivement, au nom de la Société, M. de La Touanne, du zèle et de la bonne grâce qu'il met dans la mission un peu ingrate dont il a bien voulu se charger en administrant nos finances.

Nous devons aussi de vifs remerciements à notre fidèle généreux anonyme qui, en février dernier, a glissé discrètement dans notre caisse 3.000 francs, afin de dégager la Société des risques qu'elle avait pris à sa charge pour les publications du Congrès de Physique.

Ce qui montre la vitalité de notre Société, mieux que le nombre croissant des membres, mieux que le bon état de sa trésorerie, c'est l'assiduité grandissante à nos séances; je suis frappé de voir combien, depuis quelques années, l'auditoire de nos conférenciers a augmenté; on s'entasse dans notre salle des séances; on y étouffe même un peu. La question de son aération a été agitée au dernier Conseil; espérons que, sans quitter cette petite salle si commode, qui nous rappelle de si agréables soirées, et sans voir diminuer non plus le nombre des auditeurs, nous nous y trouverons dans des conditions hygiéniques un peu meilleures.

Il faut reporter le succès croissant de nos séances à leur intérêt, aux récentes et brillantes conquêtes de la science qui nous est chère, au goût plus vif qu'elle inspire, mais aussi et surtout à la façon dont nos secrétaires généraux, M. Lucien Poincaré et ensuite M. Abraham, ont pris à cœur leur mission principale en nous préparant des séances attrayantes. Je suis certainement votre interprète en remerciant M. Abraham du zèle heureux avec lequel il dirige notre Société.

Dois-je parler de M. Sandoz? C'est tellement une habitude invétérée chez lui de se dévouer aux intérêts de la Société française de Physique, dont il est l'élément le plus permanent, de se surpasser chaque année en activité, principalement à l'époque difficile de l'organisation de l'exposition de Pâques, que je me demande s'il est bien nécessaire de l'en remercier.

Permettez-moi de vous rappeler, à l'appui de ce que je vous disais sur l'intérêt de nos séances, les plus importantes des communications que nous avons entendues en 1901.

Ces mystérieuses radiations dont l'étude passionne en ce moment nous ont valu quatre communications : *Nouvelles recherches sur les transformations des rayons X par la matière*, par M. Sagnac; *Durée d'émission des rayons Röntgen*, par M. Brunhes; *Électrisation négative des rayons secondaires dérivés des rayons X*, par MM. Curie et Sagnac; *Transparence de la matière pour les rayons X. Application à la chimie*, par M. Louis Benoist.

En Electricité, nous avons eu une communication de M. Bouty *sur la cohésion diélectrique des gaz*, et une de M. Rosset *sur une pile à dépolarisant spontanément régénérable par oxydation directe de l'air*.

L'Optique nous a fourni d'assez nombreuses communications : *Sur les causes de l'acuité visuelle*, par M. Broca; *Spectres d'absorption de quelques groupes de matières colorantes. Loi des groupes auxochromes*, par M. Lemoult; *Réseaux moléculaires et dispersion*, par M. Carvallo; *Expériences d'interférence avec le biprisme et avec les glaces argentées de Jamin*, par M. Sagnac; *Foyers conjugués de pinceaux lumineux obliques à une surface sphérique réfringente. Formule de Thomas Young. Applications*, par M. Champigny; *Réseaux obtenus par les ondes stationnaires*, par M. Cotton; *Sur la determination des paramètres optiques des cristaux par le réfractomètre. Expériences diverses sur la refraction de l'acide tartrique*,

par M. Cornu; *Nouveaux appareils d'étude et d'utilisation de diverses radiations lumineuses*, par MM. Foveau de Courmelles et Trouvé. Enfin, deux communications ont été faites au nom de M. Damien, l'une ayant pour titre : *Expériences d'interférence secondaires dans les lames cristallines*, et l'autre *Franges d interférences d'addition et de soustraction produites par la double réfraction circulaire.*

L'Acoustique a donné lieu à deux communications; dans l'une, M. Bouty nous a rendu compte d'une étude de M. Sabine *sur l'acoustique des salles;* dans l'autre, M. Raveau nous a montré les curieuses *photographies d'ondes aériennes obtenues par le procédé de M. Wood.*

L'étude des gaz a été représentée par une communication de M. Job *sur une nouvelle méthode pour mesurer le coefficient de frottement des gaz*, et par une de M. Daniel Berthelot *sur une propriété des gaz monoatomiques.*

Les mesures de précision et les appareils qui s'y rattachent ont souvent fixé notre attention : M. Guillaume nous a parlé de l'*erreur capillaire dans les thermomètres à mercure;* M. Janet nous a présenté une série de *compteurs pour courants alternatifs;* se rattachant aux mesures électriques, nous avons eu aussi les communications de M. Lippmann *sur un nouveau galvanomètre parfaitement astatique;* de M. Crémieu, *sur un galvanomètre, un électrodynamomètre et un électromètre absolu.* Enfin, M. Armagnat, après nous avoir présenté l'*Ondographe* de M. Hospitalier, l'*Oscillographe* de M. Blondel ainsi que le *Rhéographe* de MM. Abraham et Carpentier, nous a exposé sa *méthode pour déterminer expérimentalement l'amplitude et la phase des harmoniques d'un courant alternatif.* Deux communications ont eu rapport aux instruments de mesures optiques : celle de M. Dongier, *Appareil de mesure des courbures et des éléments d'un système optique quelconque*, et celle de M. Culmann *sur quelques réfractomètres nouveaux de la maison Zeiss, d'Iéna.*

Les mesures nécessitent des calculs; M. Pierre Weiss nous a présenté un *nouveau cercle à calcul.*

La question des unités nous a valu une communication de M. de Rey-Pailhade *sur la décimalisation du quart de cercle.*

Nous avons entendu deux conférences d'un caractère industriel, l'une de M. Lauriol *sur les divers systèmes d'éclairage, sur la distribution de la chaleur et de la force motrice*, l'autre de M. Fouché *sur l'acétylène dissous et ses applications.*

La Chimie même a été représentée à l'une de nos séances où M. Lespieau nous a exposé ses idées *sur les poids moléculaires et les formules de constitution.*

Enfin, je n'aurais garde d'oublier la très amusante communication de M. Lemoine *sur les joujoux scientifiques.*

J'adresse de nouveaux et bien vifs remerciements à tous nos conférenciers.

Vous vous rappelez, Messieurs, que d'Alméida a fondé presque en même temps la Société française de Physique et le *Journal de Physique*. Ces deux institutions sœurs ont toujours vécu dans la meilleure intelligence. Pour diminuer leurs frais, elles ont pris le même imprimeur, et la même composition servait pour l'insertion d'une communication dans notre publication et dans le *Journal de Physique*. Il en résultait que le Bulletin de nos séances faisait un peu double emploi avec le journal. Je suis heureux de vous rappeler qu'une entente a eu lieu cette année : l'administration du *Journal de Physique* a consenti à fournir, par l'intermédiaire de notre trésorier, l'abonnement aux membres de la Société au prix réduit de 12 francs au lieu de 17 francs. Les personnes qui acceptent cette proposition ne recevront plus, sur les quatre fascicules qui composent notre Bulletin d'une année, que le dernier, contenant les procès-verbaux des séances ainsi que les listes des membres et des Ouvrages reçus par la Société. Les trois premiers fascicules leur sont inutiles, puisque tous les Mémoires qui s'y trouvent se trouvent aussi dans le *Journal*. Cette entente, nous l'espérons, sera avantageuse pour les deux œuvres de d'Alméida ; mais elle me paraît surtout devoir être utile à la Société de Physique ; aussi je pense exprimer vos sentiments en adressant à l'administration du *Journal de Physique* tous nos remerciements pour l'arrangement auquel elle a bien voulu consentir.

Il ne me reste plus, Messieurs, qu'à vous témoigner toute ma gratitude pour le grand honneur que vous m'avez fait en m'appelant pendant une année à présider vos séances, et à céder le fauteuil à votre nouveau président, M. Henri Poincaré.

Le mouvement de l'air étudié par la chronophotographie ;

Par M. Marey (1).

Avant de présenter à la Société mes expériences sur l'étude des mouvements de l'air par la chronophotographie, ii n'est pas inutile, je crois, de rappeler les recherches que j'ai faites, il y a quelques années, sur les mouvements des liquides. De grandes analogies rapprochent ces deux sortes d'expériences : de part et d'autre, il s'agit de rendre visibles et de photographier des phénomènes qui échappent à la vue.

Un courant d'eau bien limpide tenant en suspension des perles brillantes dont la densité est égale à la sienne est vivement éclairé par la lumière du soleil. Derrière lui est un champ obscur ; enfin un appareil chronophotographique prend une série d'images sur plaque fixe.

On voit sur l'image les points brillants formés par les perles éclairées tracer en lignes ponctuées la direction et la vitesse du courant qui les entraîne.



Fig. 1.

Quand on place dans ce courant des obstacles de diverses formes, on voit les filets de liquide s'infléchir de diverses façons et former des remous. Ainsi, contre un plan incliné, les filets d'eau se partagent (*fig.* 1) en un point qui semble être le centre de pression. Contre une surface convexe les filets glissent en léchant la surface, tandis que,

(1) Séance du 17 janvier 1902.

devant une gouttière concave, ces filets s'écartent en divergeant. Dans tous les cas, des remous se forment en aval de l'obstacle. Enfin, sur tous ces photogrammes, on peut apprécier la vitesse du fluide à chaque instant, d'après l'écartement des images des perles brillantes, car, photographiées à des intervalles de temps égaux, elles parcourent en ces temps des distances plus ou moins grandes.

Une échelle métrique donne la valeur absolue des chemins ; enfin, la fréquence des images (dix par seconde) fait connaître la vitesse de l'eau dans ses divers déplacements.

Les mêmes expériences donnent les mouvements de la surface de l'eau quand on y produit des ondes stationnaires. Le niveau du liquide éclairé par en bas forme, le long du vase qu'il mouille, un ménisque concave qui renvoie la lumière, par réflexion totale, dans la direction de l'appareil chronophotographique. On voit alors le niveau du liquide osciller à la façon d'une corde vibrante, formant des ventres et des nœuds (*fig.* 2).



Fig 2.

Une méthode analogue permet de suivre, dans un courant d'air, la vitesse et la direction des divers filets qui le constituent, avec les changements qu'ils éprouvent en rencontrant des obstacles de diverses formes.

L'appareil qui m'a servi se compose d'un tuyau prismatique rectangulaire de $0^{m},50$ de côté sur $0^{m},75$ de hauteur (*fig.* 3). La paroi antérieure est formée d'une glace bien transparente, la postérieure est couverte de velours noir, la paroi de gauche est blanche pour refléter la lumière, celle de droite est vitrée, et devant elle est une lanterne à l'intérieur de laquelle on fera exploser un éclair magnésique.

La partie inférieure du tuyau se prolonge par une caisse dans

laquelle un ventilateur électrique fait un appel d'air. Au sortir du ventilateur, l'air expulsé s'en va à travers des tuyaux qui traversent la lanterne à éclair magnésique.

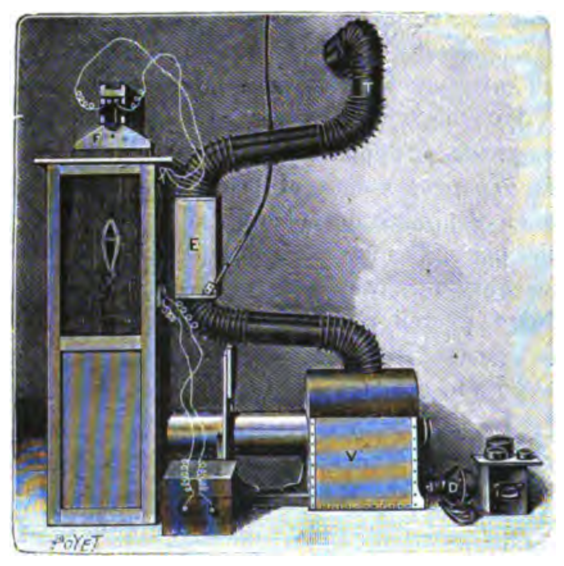


Fig. 3.

Pour que le courant soit régulier dans le tuyau à parois de glace, il faut que l'air soit filtré à travers deux châssis de gaze de soie bien tendue à mailles fines et régulières. Un de ces châssis est en haut, l'autre en bas du tuyau prismatique.

On rend visibles les courants d'air en introduisant par la partie supérieure du tuyau des filets de fumée très minces. Ces filets traversent le premier châssis de gaze et descendent, entraînés avec l'air aspiré, dans le tuyau, où ils restent parallèles entre eux jusqu'à la gaze inférieure qu'ils traversent pour se rendre dans le ventilateur.

La production de ces filets de fumée s'obtient de la manière suivante : On brûle dans un fourneau fermé de l'amadou mêlé à des étoffes de coton ; la fumée qui s'en dégage est conduite, par un tuyau recourbé, à une série de tubes d'émission, très minces et parallèles entre eux, qui reposent à la surface de la gaze supérieure.

Quand on place à l'intérieur du tuyau un obstacle sur le trajet du courant d'air (*fig.* 4), on voit les filets de fumée s'infléchir contre

l'obstacle et se partager en deux courants dont l'un remonte la pente du plan incliné, tandis que l'autre la suit. Ce partage se fait en un lieu qui correspond au centre de pression de l'air contre la surface inclinée; le lieu de partage est au centre de la figure du plan, s'il est horizontal, et s'approche de son bord d'amont à mesure que le plan s'incline davantage.



Fig. 4.

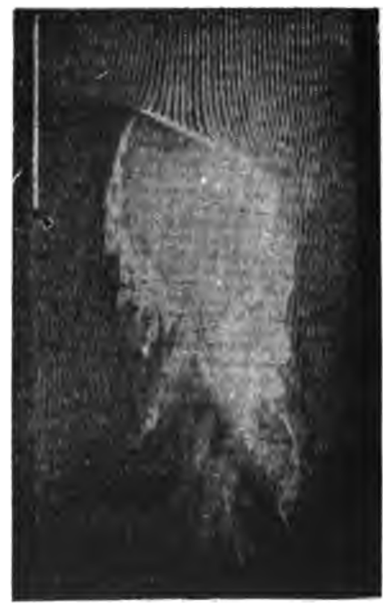


Fig. 5.

En aval de l'obstacle, des remous se forment et montrent leurs volutes autour d'un espace où l'air semble tout à fait immobilisé.

Mais il ne suffit pas de connaître la direction des filets d'air en chaque point; il faut aussi en connaître la vitesse.

A cet effet, la série de petits tubes qui amène sur la gaze filtrante les filets de fumée aspirés est soumise à un ébranlement latéral qui se répète dix fois par seconde. Un trembleur électrique réglé à cette fréquence entretient ce mouvement vibratoire. Sous cette influence, les fumées ne forment plus des lignes droites parallèles, mais des courbes sinusoïdales dont les inflexions se conservent pendant tout leur parcours. D'autre part, à l'intérieur du tuyau à air, une réglette

de $0^m,20$ de longueur, située exactement dans le même plan que les filets de fumée, sert d'échelle pour mesurer l'espace parcouru par les molécules d'air, en chaque dixième de seconde.

On voit sur chacun des filets (*fig.* 5) une série d'inflexions latérales qui se conservent pendant toute la durée de leur parcours. Ces inflexions resteraient équidistantes si la vitesse du courant était la même en tous les points. Mais, dans les régions où le courant se ralentit, les inflexions se montrent plus serrées; elles s'écartent, au contraire, les unes des autres quand le courant est rapide.

Les figures qu'on vient de voir ont été obtenues à la lueur d'un éclair magnésique, c'est-à-dire en un temps si court que chaque filet de fumée apparaît comme s'il était immobile.

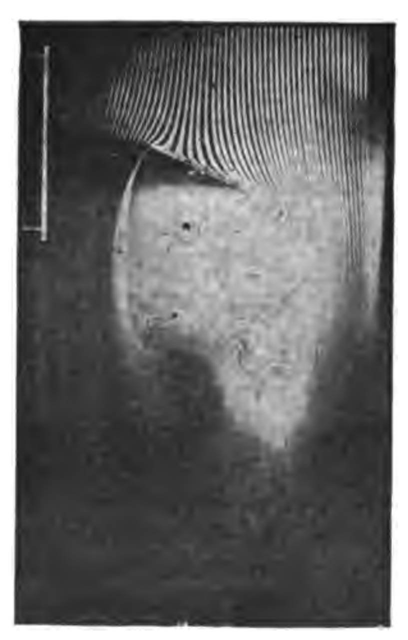


Fig. 6.

Si l'éclairement durait plus longtemps, l'aspect de la figure changerait et donnerait l'état moyen du courant d'air : c'est ce qu'on voit *fig.* 6, où l'éclairage, produit par la combustion prolongée d'un fil de magnésium, a duré sept secondes environ.

On ne saurait énumérer les diverses applications de cette méthode, car on peut varier à l'infini la forme et les dimensions des

corps plongés dans le courant d'air, augmenter ou diminuer la vitesse du courant.



Fig. 7.



Fig. 8.

Une question importante pour l'aviation est de savoir comment se comportent les filets d'air contre trois plans voisins et parallèles entre eux, inclinés sous un certain angle. La *fig.* 7 répond à cette question d'une manière très claire.

Dans un autre cas, il s'agirait de savoir si la conformation des animaux aquatiques, dont la tête est obtuse et la queue effilée, constitue une disposition favorable. En immergeant dans l'eau des solides dont l'une des extrémités est obtuse et l'autre effilée, on peut voir qu'il y a grand avantage à ce que la grosse extrémité se présente la première ; il y a, de cette façon, beaucoup moins de remous à l'arrière.

Il en est de même quand l'on opère dans l'air : les *fig.* 8 et 9 montrent qu'avec la grosse extrémité tournée en avant les corps laissent derrière eux un sillage de remous moins large.

On considérera, je pense, comme une preuve de la précision de

la méthode, ce fait que, si l'on répète deux fois de suite une expérience, en conservant les mêmes conditions, les images obtenues sont identiques et superposables entre elles pour tous les points qui ne sont pas situés dans la région des remous.



Fig. 9.

Je crois pouvoir ajouter que cette méthode donnera la solution expérimentale de divers problèmes relatifs aux appareils propulseurs dans les fluides, aux questions de ventilation, etc.

Sur la mise au foyer d'un collimateur ou d'une lunette au moyen de la mesure d'une parallaxe ;

Par M. G. Lippmann [1].

Mettre au point un collimateur, c'est régler le tirage jusqu'à amener la fente dans le plan focal de l'objectif; tout point P de la fente

[1] Séance du 17 janvier 1902.

donne alors un point P′ rejeté à l'infini. Si le réglage est incomplet, le point P′ est à une distance finie L de l'observateur. Le problème est donc ramené à celui-ci : mesurer la distance L de l'observateur à un point P′ éloigné et inaccessible.

Supposons que l'observateur, après avoir visé le point P′, se déplace d'une certaine longueur *d* perpendiculairement à la ligne de visée et qu'il vise de nouveau P′. Si les deux lignes de visée sont parallèles, P′ est à l'infini ; si, au contraire, ces deux lignes font entre elles un angle α, P′ est à une distance L telle que :

$$\alpha = \frac{d}{L};$$

α n'est autre que l'angle sous lequel le déplacement *d* est vu du point P′ ; il est ce que les astronomes appellent une *parallaxe*.

Pour faire l'expérience, on vise le point P′ au travers d'une lunette auxiliaire O, munie d'un réticule, et l'on amène l'image de P′ sur ce réticule. Puis on déplace la lunette parallèlement à elle-même d'un nombre de centimètres *d* qu'il est facile de mesurer. On vise de nouveau : si l'image de P′ est restée sur le réticule, c'est que P′ est à l'infini. Sinon, on modifie le tirage du collimateur jusqu'à ce que le déplacement *d* ne détruise plus la coïncidence.

La précision du résultat dépend principalement de la puissance de la lunette auxiliaire O. Supposons, par exemple, cette lunette telle que tout déplacement égal à 0″,1 soit encore visible.

Si le déplacement paraît nul, c'est que α est moindre que 0″,1. Supposons $d = 5$ centimètres. On a donc :

$$\frac{d}{L} < 0'',1 ; \qquad \text{d'où} \qquad L > \frac{5^{cm}}{0'',1},$$

c'est-à-dire :

$$L > 100^{km}.$$

La sensibilité de la méthode croît rapidement, plus que proportionnellement, avec les dimensions de la lunette auxiliaire O. Car, d'une part, la puissance de cette lunette croît avec ses dimensions; d'autre part, le déplacement *d* croît avec le diamètre de l'objectif de O : les deux objectifs devant rester en regard, *d* est au plus égal à la différence des diamètres des deux objectifs. L'objectif du collimateur à régler fonctionne à pleine ouverture, c'est-à-dire dans les meilleures conditions possibles. Quant à l'objectif auxiliaire O, il n'est pas nécessaire qu'il soit parfait, mais seulement que les deux

parties marginales symétriques que l'on utilise successivement aient le même foyer : il suffit, en d'autres termes, qu'il soit symétrique et de révolution.

Une lunette se règle comme un collimateur, en éclairant la croisée des fils de manière à la faire fonctionner comme collimateur. On peut communiquer le déplacement d, soit au collimateur à régler, soit à la lunette auxiliaire; il est seulement nécessaire que ce déplacement soit bien parallèle.

J'ai utilisé, pour faire l'expérience, le chariot d'une machine à diviser dont la glissière, vérifiée (1), a paru parfaitement rectiligne.

Méthode pour vérifier si une glissière ou une règle sont rectilignes ;

Par M. G. Lippmann (2).

Un chariot mobile est guidé par la glissière ou par la règle à vérifier. On déplace le chariot d'une quantité arbitraire : il s'agit de savoir si le chariot est resté parallèle à lui-même.

Pour s'en assurer, on se sert de deux lunettes à réticules M et F placées conaxialement : c'est-à-dire que le réticule de M fait son image sur celui de F. Les deux lunettes sont à peu près parallèles à la glissière; M est portée par le chariot et F est fixe. Cela posé, on déplace le chariot; si l'image de l'un des réticules demeure sur l'autre, la glissière est parfaite.

En ce cas, en effet, les lunettes sont restées conaxiales : l'axe de M est resté parallèle à l'axe de F, qui est fixe. Il est bon de remarquer que deux lunettes réglées à l'infini sont conaxiales lorsque leurs axes sont parallèles. Il n'est pas nécessaire qu'ils soient sur le prolongement l'un de l'autre; cette condition, qui n'est jamais exactement réalisée, serait superflue. Il n'est pas nécessaire, pour la même rai-

(1) Il est prudent de vérifier la glissière et de s'assurer qu'elle est bien rectiligne (Voir la Note suivante).

Lorsque, sans déplacer le collimateur, on interpose sur le trajet des rayons une lame à faces parallèles que l'on incline sur le faisceau, on produit optiquement un déplacement parallèle du point P'. Le déplacement de l'image qui en résulte vu dans la lunette auxiliaire, est un effet de parallaxe qui ne s'annule que quand P est à l'infini. Voir *J. de Phys.*, 3e série, t. VIII, p. 594; 1899.

(2) Séance du 17 janvier 1902.

son, que les lunettes M et F soient exactement parallèles à la glissière. Il est seulement préférable, au point de vue de la qualité des images, que le parallélisme soit suffisant pour que les deux objectifs demeurent approximativement centrés.

Sur la dispersion anomale dans les cristaux de sulfate de néodyme et de praséodyme ;

Par M. H. Dufet [1].

En étudiant, pour en faire la monographie cristallographique et optique, les sulfates de néodyme et de praséodyme, j'ai observé quelques faits d'un intérêt un peu plus général, touchant l'existence de la dispersion anomale dans ces sels. J'ai exposé, dans un autre recueil [2], le résultat complet de mes déterminations; j'en extrairai ici ce qui a trait au point précité.

Dans le voisinage des régions du spectre riches en raies d'absorption, la dispersion anomale proprement dite, trop peu marquée pour pouvoir être mise en évidence par la mesure directe des indices de réfraction, se manifeste par la variation rapide de l'angle des axes optiques, au voisinage et dans l'intérieur de ces bandes. De plus, les deux sels, surtout le premier, présentent un phénomène connexe, que je crois tout à fait nouveau : c'est la *dispersion anomale des axes d'élasticité optique*.

On sait que le spectre d'absorption des sels de didyme, qui, dans les dissolutions, se compose de bandes assez larges, prend dans les sels cristallisés un aspect se rapprochant beaucoup plus des spectres de raies, et présente, de plus, des différences marquées suivant la direction des vibrations lumineuses. Ce fait, signalé d'abord par Bunsen, a surtout été mis en lumière par M. H. Becquerel [3]. J'ai donné dans le mémoire cité plus haut la description et le dessin des spectres des sulfates de néodyme et de praséodyme, pour trois direc-

---

(1) Séance du 7 mars 1902.

(2) H. Dufet, *Etude cristallographique et optique des sulfates de néodyme, de praséodyme et de samarium à* $8H^2O$ (*Bulletin de la Société française de Minér.*, t. XXIV, p. 355 ; 1901).

(3) H. Becquerel, *Recherches sur les variations des spectres d'absorption dans les cristaux* (*Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIV, p. 208; 1888).

tions remarquables de vibrations, la bissectrice aiguë, la bissectrice obtuse et la ligne moyenne ; dans le sulfate de samarium, qui existait aussi dans l'ancien sulfate de didyme, la direction de la vibration ne paraît pas avoir d'influence sur l'absorption. Il n'y a aucune raie commune aux trois métaux, ce qui est une preuve de la pureté relativement grande des sels que j'avais à ma disposition ; c'étaient ces beaux cristaux exposés en 1900 par MM. Chenal et Douilhet, et qui ont attiré si vivement l'attention des chimistes et des cristallographes.

Comme je n'ai pu suivre les phénomènes de dispersion des axes en lumière spectrale qu'un peu au-delà de la raie F, je signalerai seulement les particularités des spectres pour la région étudiée.

Dans le sulfate de néodyme, des raies, placées dans le rouge extrême, s'arrêtent très près de la raie du lithium ($\lambda = 0^\mu,6717$) : c'est là qu'ont commencé mes observations. Dans le rouge se trouvent quelques raies ($\lambda = 0^\mu,6380$ à $0^\mu,6225$) sans influence sur les indices, puis vient la grande bande de l'orangé ; elle s'étend de $\lambda = 0^\mu,5938$, très près de la raie D ($\lambda_D = 0^\mu,5893$), à $\lambda = 0^\mu,5715$. Elle contient neuf raies principales, fines dans les cristaux minces, mais s'élargissant avec l'épaisseur croissante, et finissant, sur des cristaux de 1,5 à 2 millimètres d'épaisseur, par former une bande presque uniforme. Presque immédiatement après la raie du thallium ($\lambda_{Tl} = 0^\mu,535$), pour $\lambda = 0^\mu,5342$, commence la bande du vert, avec six raies fortes jusqu'à $\lambda = 0^\mu,5258$, et des bandes moins absorbantes jusqu'à $\lambda = 0^\mu,500$. Les groupes des raies du violet commencent un peu après la raie F, à $\lambda = 0^\mu,4828$ ($\lambda_F = 0^\mu,4861$).

Dans le sulfate de praséodyme, on n'observe rien avant l'orangé ; de $\lambda = 0^\mu,601$ à $\lambda = 0^\mu,581$, se trouvent quatre raies, ou plutôt quatre bandes, très variables avec la direction des vibrations, se réduisant, en particulier pour les vibrations parallèles à la bissectrice aiguë, à une teinte plate peu intense avec une raie bien nette et forte, dont le milieu correspond à $\lambda = 0^\mu,5916$. Il n'y a rien dans le vert, jusqu'au voisinage de la raie F, où les bandes recommencent à $\lambda = 0^\mu,487$. En général, dans le sulfate de praséodyme, les raies sont moins fines, et le polychroïsme est plus marqué que dans le sulfate de néodyme.

Ces faits rappelés, j'arrive à la description des phénomènes particuliers dont j'ai à parler. Les indices de réfraction ont été mesurés par la méthode de la réflexion totale, au moyen du réfractomètre

Abbe-Pulfrich. On n'observe dans ces mesures rien de particulier; en opérant avec un oculaire muni d'un spectroscope, il n'y a, avec des plaques bien polies, pas trace de raies d'absorption dans la lumière réfléchie. La limite de réflexion totale s'étend régulièrement dans le spectre; les anomalies dans les indices que révélera la mesure de l'angle des axes optiques n'atteignent pas la quatrième décimale.

Voici les valeurs observées :

Sulfate de néodyme ($t = 18°$ C.).

	n_g	n_m	n_p
Li ($\lambda = 0^{\mu},6708$)	1.5583	1.5469	1.5379
D ($\lambda = 0\ ,5893$)	1.5621	1.5505	1.5413
Tl ($\lambda = 0\ ,5350$)	1.5652	1.5534	1.5441

Sulfate de praséodyme ($t = 24°$ C.).

	n_g	n_m	n_p
Li	1.5573	1.5459	1.5366
D	1.5607	1.5494	1.5399
Tl	1.5641	1.5525	1.5430

1. *Angle des axes optiques.* — L'angle des axes peut s'observer facilement. Les cristaux appartiennent au système clinorhombique; la bissectrice aiguë est parallèle à l'axe de symétrie, et la bissectrice obtuse est, dans les deux sels, très près d'être normale à la base qui est un plan de clivage parfait.

Des lames de clivage, immergées dans la naphtaline bromée, montreront les anneaux autour de la bissectrice obtuse, car l'angle des axes est voisin de 90°.

1° *Sulfate de néodyme.*

L'angle des axes mesuré à 20° C., sur la bissectrice obtuse, est 88° 24′ pour la lumière du lithium et 87° 34′ pour celle du thallium. Avec l'indice de la naphtaline, mesuré immédiatement après la mesure, on calcule pour l'angle *aigu* intérieur :

$$2V = 84°\,2' \text{ (lithium)}$$
$$83°\,56' \text{ (thallium).}$$

En observant les axes en lumière spectrale, on voit que l'angle augmente assez brusquement en approchant de la bande d'absorp-

tion placée entre $\lambda = 0^{\mu},594$ et $\lambda = 0^{\mu},571$, pour présenter après cette bande sa valeur minimum ; il augmente ensuite très lentement jusqu'à la valeur relative à la lumière du thallium. Celle-ci ($\lambda = 0^{\mu},535$) est très voisine de la bande d'absorption du vert qui commence à $\lambda = 0^{\mu},534$.

En lumière spectrale, les hyperboles passant par l'axe optique sont élargies ou resserrées, suivant que la dispersion des axes optiques se fait dans le sens des couleurs spectrales ou en sens inverse ; cet élargissement, symétrique quand la loi de la variation de la dispersion avec la longueur d'onde est la même, linéaire par exemple, pour le prisme et les axes optiques, cesse de l'être dans le cas contraire. On éliminera suffisamment cette cause d'erreur en retournant la plaque de 180° dans son plan et en prenant la moyenne des valeurs observées.

La moyenne des nombres obtenus dans plusieurs observations bien concordantes est représentée par la courbe de la *fig.* 1 ; les abscisses sont les valeurs de $\frac{1}{\lambda^2}$ et les ordonnées les angles intérieurs des axes optiques. On voit que cette courbe a tout à fait l'allure des

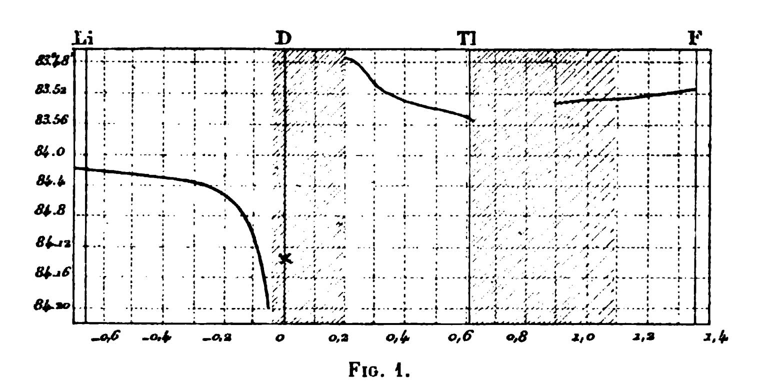


Fig. 1.

courbes représentant les indices dans la dispersion anomale ; c'est très certainement à la dispersion anomale des indices principaux que sont dues ces variations de l'angle des axes, petites il est vrai, mais pourtant facilement mesurables.

L'angle des axes pour la raie D a pu être mesuré en ouvrant largement la fente du spectroscope et en l'éclairant par la lumière du sodium ; on élimine ainsi, par la dispersion, la lumière étrangère,

et l'on peut, bien qu'assez difficilement, apercevoir les hyperboles ; il n'y a pas, en effet, de maximum d'absorption coïncidant rigoureusement avec les raies du sodium.

Voici le résumé des nombres obtenus :

2V ($t = 20°$)		*id.* (calculé)
84° 2′	Lithium	83° 49′
84° 20′	Maximum observé	
84° 13′ 1/2	Sodium	83° 57′
83° 47′ 1/2	Minimum observé	
83° 56′ 1/2	Thallium	83° 48′
83° 51′	(Raie F)	

On voit que ces valeurs sont suffisamment d'accord avec celles déduites des indices, étant donnée la faible biréfringence de la substance.

2° *Sulfate de praséodyme.*

Le sulfate de praséodyme présente des phénomènes analogues, mais plus marqués et plus intéressants, parce qu'on peut suivre les axes optiques dans l'intérieur de la bande d'absorption. On peut, en particulier, facilement déterminer l'angle des axes avec la lumière du sodium.

L'angle des axes mesuré en lumière monochromatique est presque identique pour les radiations du lithium et du thallium :

$$2V_{Li} = 84° 51'$$
$$2V_{Tl} = 84° 52'$$

tandis que, pour la lumière du sodium, il atteint 85° 28′.

Ces résultats se rapportent à la température de 24° C.

Ces nombres s'accordent parfaitement avec ceux déduits des mesures d'indices, à la même température :

2V (calculé)	
84° 45′	Li
85° 27′	D
84° 52′	Tl

J'ai indiqué plus haut comment est constituée dans ce sel la bande de l'orangé, de $\lambda = 0^{\mu},601$ à $0^{\mu},580$.

En suivant en lumière spectrale la dispersion propre des axes

optiques, on voit que l'angle diminue à peine depuis l'extrémité rouge du spectre jusqu'à la bande d'absorption. On peut encore suivre un peu les axes dans l'intérieur de la bande du côté le moins réfrangible, quoique assez difficilement.

L'observation est beaucoup plus facile dans la moitié de la bande plus réfrangible que la raie 5916. L'angle des axes décroît très rapidement, à partir de la valeur relative à la raie D, et arrive à un minimum de 84° 37′, exactement à la limite extrême de la bande d'absorption. A ce moment, l'angle augmente assez rapidement, et continue à croître très lentement à partir de la valeur relative au thallium. Il m'a été impossible, à cause du défaut de lumière, de suivre les axes jusqu'aux bandes d'absorption du violet.

Ces observations ont été faites sur une plaque de clivage, dans la naphtaline bromée: dans la cuve, se trouvait un thermomètre, de manière à corriger chaque lecture particulière et à la ramener à la température moyenne de l'expérience.

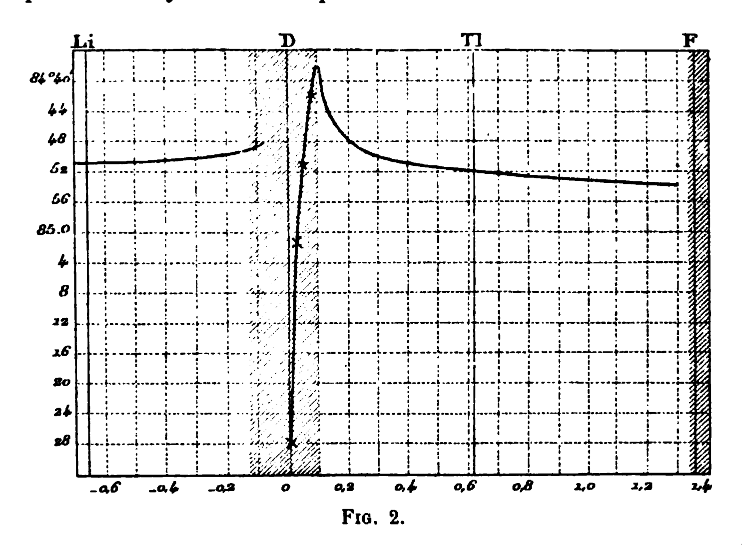


Fig. 2.

La *fig.* 2 représente la moyenne des observations, en prenant pour abscisses $\frac{1}{\lambda^2}$. On remarquera la forme nettement asymptotique de la courbe au voisinage de la raie 5916: c'est la forme observée en particulier dans la dispersion anomale de la vapeur de sodium par M. H. Becquerel.

II. *Dispersion anomale des bissectrices.* — Quand on examine les anneaux en lumière spectrale, on voit, en déplaçant le collimateur du spectroscope, un déplacement brusque et relativement considérable des anneaux de part et d'autre de la bande d'absorption de l'orangé. Les mesures ont été faites sur une plaque sensiblement normale à l'axe optique, immergée dans la naphtaline bromée. Le plan des axes optiques est disposé parallèlement à l'axe de rotation de la plaque, les sections principales des nicols étant l'une parallèle, l'autre perpendiculaire au plan des axes ; on obtient alors une frange noire verticale qui se déplace quand on change la longueur d'onde de la lumière. En multipliant les angles observés par le rapport des indices de la naphtaline bromée et du cristal, on a les angles pour les axes intérieurs. Enfin, en divisant ces angles par le sinus du demi-angle vrai des axes optiques, on obtient, comme il est facile de le voir, l'angle des bissectrices obtuses placées dans le plan de symétrie avec une d'elles prise comme origine.

Dans le sulfate de néodyme, j'ai trouvé que le plan des axes rouges fait un angle de 0° 43′ avec l'axe vertical dans l'angle *aigu* des axes cristallographiques. Cet angle augmente quand on se rapproche de la bande d'absorption de l'orangé et atteint, à la limite la moins réfrangible de cette bande, un maximum de 0° 58′. D'un bord à l'autre de la bande, l'angle varie de près de 1° et atteint la valeur minimum de 0° 2′ ; j'ai pu faire quelques mesures dans l'intérieur de la bande, d'où il résulte que le plan des axes se déplace du maximum au minimum proportionnellement à $\frac{1}{\lambda^2}$. Entre la bande de l'orangé et celle du vert, l'angle du plan des axes optiques avec l'axe vertical augmente et passe, immédiatement après la raie du thallium, au contact de la bande du vert, par un maximum relatif de 0° 26′30″, pour décroître ensuite jusqu'à la valeur de 0°17′ (raie F).

La *fig.* 3 représente les résultats des mesures ; les abscisses sont données en $\frac{1}{\lambda^2}$; l'échelle est suffisante pour que cette figure remplace avantageusement un tableau numérique.

J'ai, dans un travail déjà ancien ([1]), montré que, dans les cristaux clinorhombiques, la dispersion des axes d'élasticité optique suivait

([1]) H. Dufet, *Sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans les cristaux clinorhombiques* (*Bull. Soc. de Minér.*, t. X, p. 274 ; 1887).

à peu près la même loi que les indices de réfraction, c'est-à-dire que la courbe donnant les angles des bissectrices avec l'une d'elles, en

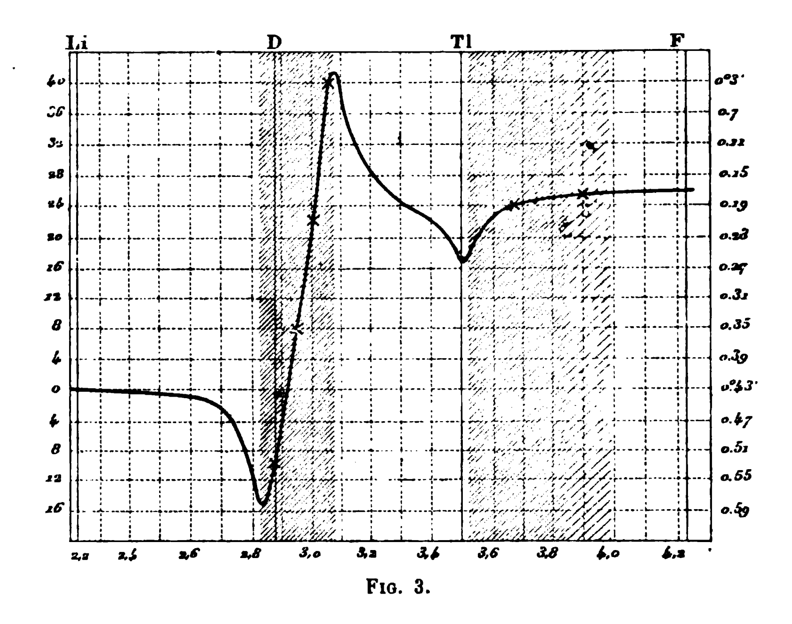


Fig. 3.

fonction de $\frac{1}{\lambda^2}$, était voisine d'une droite. Nous trouvons ici une vérification remarquable du même fait, où la dispersion anomale remplace la dispersion régulière, qui n'est pas loin d'être proportionnelle à $\frac{1}{\lambda^2}$. La courbe de la *fig.* 3 présente, en effet, une analogie complète avec les courbes qui représentent les indices anomaux en fonction de $\frac{1}{\lambda^2}$.

On rencontre dans le sulfate de praséodyme des phénomènes du même ordre, mais beaucoup moins marqués. Ils ont été mesûrés exactement de la même manière, sur une plaque perpendiculaire à un axe optique. Les axes optiques pour la raie D, qui présentent une forte anomalie au point de vue de la dispersion propre des axes, en présentent aussi une notable au point de vue de la dispersion des bissectrices. La position de l'axe pour la raie D a été repérée en lumière monochromatique, en ouvrant largement la fente du spectroscope, ainsi que je l'ai indiqué plus haut. La *fig.* 4 représente

la marche du phénomène, à la même échelle que la *fig.* 3. On voit qu'ici la dispersion des axes se fait dans le sens contraire à celui du néodyme, ce qui exclut l'hypothèse d'une impureté. L'angle du plan

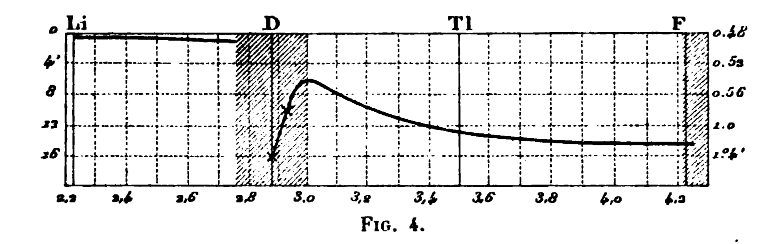


Fig. 4.

des axes optiques avec l'axe vertical, qui, pour la lumière du lithium, est de 0° 48′, augmente jusqu'à 1° 2′ 30″ (raie F), en mettant à part la valeur anomale relative à la raie D (1° 4′ 20″).

Banc pour la photographie stéréoscopique à courte distance. Effets divers de relief stéréoscopique ;

Par M. E. Colardeau (1).

Quand on exécute, à des distances de plus en plus faibles, la photographie stéréoscopique d'un objet avec un appareil binoculaire O_1O_2, construit d'après les données courantes, c'est-à-dire avec un appareil dont l'écart des objectifs est fixe et égal à celui des yeux (63 millimètres environ), on ne tarde pas à rencontrer une difficulté. Les images A_1, A_2 de la partie centrale A de l'objet visé (*fig.* 1, *a*) cessent de tomber sur les centres M_1, M_2 des parties de la plaque sensible où doivent s'imprimer les deux épreuves. Le point A_1 est décentré à gauche, tandis que A_2 l'est à droite. De sorte que l'une des épreuves contient surtout la moitié gauche du sujet, l'autre contenant surtout la moitié droite. La partie commune aux deux épreuves, la seule pour laquelle apparaît le relief, se réduit alors à une bande de plus en plus étroite à mesure que l'on opère

(1) Séance du 7 mars 1902.

de plus près. La largeur de cette bande peut même tomber à zéro, si l'on opère à une distance suffisamment faible. On a alors une épreuve évidemment inutilisable au stéréoscope.

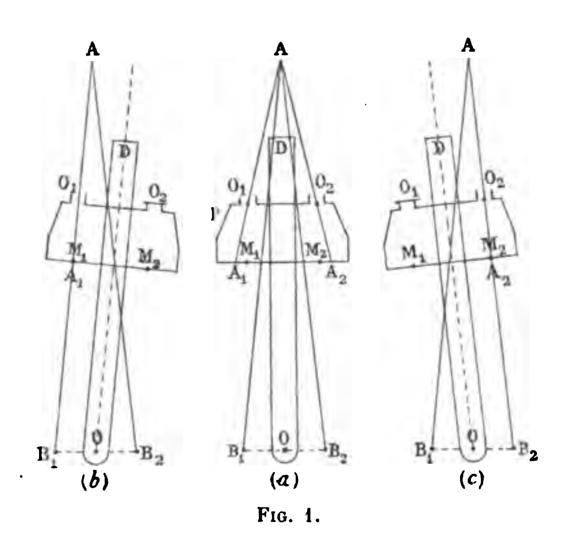


Fig. 1.

Même avant d'arriver à cette limite, on rencontre une autre difficulté. Dans le tirage de l'épreuve positive, qui nécessite, comme on sait, l'interversion des deux clichés droit et gauche, le décentrement des points A_1, A_2 subsiste, mais en sens contraire. La distance qui sépare les points A_1, A_2 sur cette épreuve devient plus faible que celle des yeux. De sorte que, quand cette photographie est placée dans un stéréoscope à lentilles convergentes, de foyer équivalent à celui de l'appareil photographique, les yeux doivent faire un effort de convergence d'autant plus grand que le décentrement est lui-même plus grand. Il en résulte une difficulté croissante, et même bientôt l'impossibilité d'obtenir la superposition stéréoscopique de la partie commune aux deux épreuves.

On pourrait songer, pour éviter cet inconvénient, à écarter l'une de l'autre, en sens contraires, les deux épreuves positives, de manière à augmenter la distance des points correspondants A_1, A_2 et, par suite, à diminuer l'effort de convergence des yeux. Mais cette manière d'opérer, outre qu'elle ne remédierait en rien à la première difficulté signalée, entraînerait dans la forme apparente de l'objet reconstitué une altération mise en évidence et étudiée en détail par

M. Cazes[1]. Cette altération consiste en une augmentation progressive de l'épaisseur apparente de l'objet, comparativement à ses dimensions transversales. Cette augmentation d'épaisseur s'exagérerait en même temps que les déplacements latéraux qu'on ferait subir aux images, et, par suite, à mesure que l'on opérerait de plus près. On arriverait alors bientôt à avoir, aux courtes distances, des objets reconstitués paraissant avoir une épaisseur deux ou trois fois plus grande que leur épaisseur réelle, comparativement à leurs dimensions hauteur et largeur.

En résumé, par cette manière de faire, on aboutirait à un développement croissant du relief, qui deviendrait bientôt exagéré et inacceptable en pratique.

J'ai combiné un dispositif de banc optique qui, tout en corrigeant le premier défaut, permet d'atténuer également le second d'une manière systématique, de façon à donner un relief pratiquement satisfaisant.

L'appareil photographique O_1O_2 est placé sur une réglette OD, le long de laquelle on peut le faire glisser, de manière à l'amener à telle distance que l'on veut du sujet A à photographier. Cette réglette peut tourner autour de son extrémité O. Orientons-la de manière que le centre du sujet A se trouve sur la ligne de symétrie de l'appareil (*fig.* 1, *a*), les images de A tomberont en A_1, A_2 ; nous aurons le décentrement des images indiqué plus haut. C'est ce décentrement qu'il s'agit de corriger.

Considérons, à droite et à gauche du point O, deux points B_1, B_2, placés symétriquement et séparés par une distance égale à celle des objectifs O_1, O_2. Tirons les lignes AB_1 et AB_2, et faisons tourner tout le système autour de O, de manière que l'objectif O_1 vienne sur la ligne AB_1. Cette position de l'appareil est représentée *fig.* 1 (*b*). On voit que l'image A_1 de A tombe maintenant au milieu M_1 de la partie gauche de la plaque sensible. Le sujet se retrouve donc centré, et cela quelle que soit la position de l'appareil le long de la réglette OD, puisque, quand on le fait glisser sur toute cette longueur, l'objectif O_1 reste sur la ligne AB_1. On fera donc une première pose à l'aide de l'objectif O_1, en ayant soin de masquer O_2.

Faisons ensuite tourner à nouveau tout le système autour de O, de manière à amener l'objectif O_2 sur la ligne AB_2 (*fig.* 1, *c*). Nous

(1) L. Cazes, *Stéréoscopie de précision*, p. 23 : Pellin, éditeur, 21, rue de l'Odéon.

aurons, de même, l'image A_2 de A centrée au milieu M_2 de la plaque de droite. Nous ferons donc une seconde pose avec l'objectif O_2 en masquant O_1. Les deux images droite et gauche ainsi centrées seront alors optiquement superposables dans toute leur étendue, quand on les placera dans le stéréoscope. Cette superposition se fera facilement et sans efforts anormaux de convergence des yeux, puisque, grâce au déplacement de la plaque sensible d'une pose à l'autre, la distance des images correspondantes A_1, A_2, sur cette plaque, est devenue égale à la distance qui sépare les deux objectifs, c'est-à-dire les deux yeux.

Mais ce même déplacement entraînerait la déformation en profondeur de l'objet, indiquée plus haut, si l'écart des objectifs au moment des deux poses était resté égal à celui des yeux. Il suffit d'examiner la *fig.* 1 (*a*) pour voir qu'il n'en est pas ainsi. En effet, les deux objectifs O_1, O_2, au moment où on les utilise pour les deux poses, se trouvent respectivement sur les deux lignes AB_1, AB_2. Tout se passe donc comme s'ils avaient présenté, au moment de ces deux poses, un écart fictif égal à celui intercepté entre les deux droites AB_1, AB_2, par la ligne O_1O_2. Cet écart est inférieur à O_1O_2. Toutes les autres conditions restant les mêmes, cet écart sera d'autant plus petit que le centre de rotation O de la réglette sera plus éloigné en arrière de l'appareil, puisque la longueur B_1B_2 est constante et égale à O_1O_2. Si donc le point O est mobile le long de la réglette, on pourra, en déplaçant ce point, faire varier l'écart fictif des objectifs et, par suite, l'épaisseur apparente de l'objet reconstitué.

L'expérience montre que, quand on opère à la distance de 20 centimètres, par exemple, de l'objet à reproduire, avec un appareil tel qu'un vérascope (foyer des objectifs, 55 millimètres), on obtient une épreuve donnant, au stéréoscope, la sensation de l'épaisseur vraie de l'objet en éloignant le centre de rotation O à une distance considérable (1 à 2 mètres) en arrière de l'appareil. Si l'on donnait à la réglette OD cette même longueur, pour placer le centre de rotation O à son extrémité, on aurait un appareil très encombrant et difficile à manier. Grâce au dispositif qui va être décrit, on peut, tout en ne donnant à la réglette qu'une faible longueur, la faire tourner autour d'un centre fictif placé à telle distance que l'on veut en arrière de l'appareil et, par suite, obtenir, pour un objet donné et à une distance donnée, tous les degrés de relief que l'on désire.

Soit OB la réglette (*fig.* 2, *a*), supposée débarrassée de l'appareil photographique, et O son centre de rotation. A l'extrémité opposée, elle porte une coulisse $C_1C'_1$, avec un buttoir intérieur B, qui permet de l'amener sans tâtonnements dans les positions voulues pour

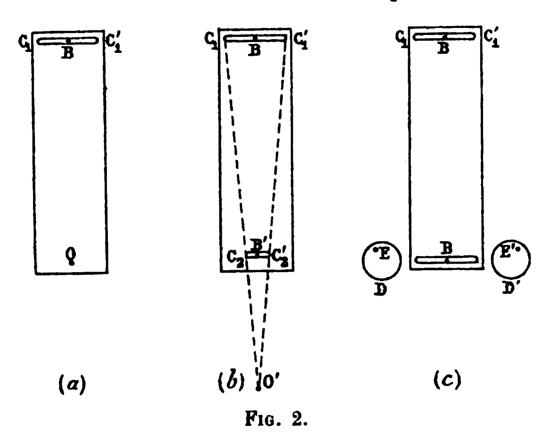


Fig. 2.

effectuer les deux poses. Un coup d'œil jeté sur la *fig.* 1 permet de reconnaître immédiatement que la longueur de cette coulisse doit être pratiquement égale à la distance qui sépare les objectifs, si l'on suppose que l'objet A à photographier se trouve à l'extrémité même de la réglette. Admettons que la longueur de cette réglette soit jugée trop faible pour placer le point O à une distance suffisante, on remplacera ce point O par une deuxième coulisse $C_2C'_2$, plus courte que la première (*fig.* 2, *b*) et munie elle-même d'un buttoir intérieur B'. Si, pour faire les deux poses nécessaires, on a soin de pousser à fond les coulisses contre les buttoirs, alternativement à droite et à gauche, on voit (*fig.* 2, *b*) que tout se passera comme si la réglette avait tourné autour du point O'. Ce point sera d'autant plus éloigné que la longueur de $C_2C'_2$ sera plus voisine de celle de $C_1C'_1$.

Pour une longueur égale des deux coulisses, le point O' serait rejeté à l'infini. Le déplacement de l'appareil photographique, d'une pose à l'autre, deviendrait un simple déplacement transversal par translation, égal à la distance même des objectifs. Les deux épreuves droite et gauche seraient alors identiques et le relief nul.

En pratique, on donnera à la coulisse $C_2C'_2$ une longueur égale à celle de $C_1C'_1$, mais on limitera la course de l'extrémité postérieure

de cette réglette à telle fraction que l'on voudra de cette longueur. J'ai adopté pour cela deux disques D, D′ tournant autour des deux points excentriques E, E′, et pouvant se fixer, à l'aide de vis de pression, dans telle position que l'on veut autour de ces deux points. L'intervalle qu'ils laissent entre eux varie avec cette position des disques ; par suite, le déplacement de l'extrémité postérieure de la réglette se trouve limité à telle valeur que l'on désire.

C'est donc par le déplacement de ces disques D, D′ que l'on obtiendra, pour l'objet photographié, tel degré de relief que l'on jugera convenable. J'ai pris, de cette manière, une série de dix épreuves d'un même mouvement de montre, photographié à la distance de 15 centimètres avec des positions du point O variables depuis l'infini jusqu'à la ligne O_1O_2 elle-même, c'est-à-dire avec un écart des objectifs variable depuis zéro jusqu'à la distance même qui les sépare sur la chambre noire (63 millimètres). Ces épreuves, examinées chacune à leur tour, donnent l'illusion d'une montre qui, tout en conservant un diamètre constant, prendrait une épaisseur variable de zéro à plusieurs centimètres. Parmi ces épreuves, l'une donne l'illusion correcte de l'épaisseur réelle de la montre : c'est celle qui a été prise pour une position du centre de rotation O placée à $1^{m},50$ en arrière de l'appareil. Cela correspond à un écart fictif des objectifs égal à 6 millimètres environ.

Si l'on se reporte à la *fig.* 1, on voit que, dans le déplacement qu'on donne à tout le système pour faire travailler, chacun à leur tour, les deux objectifs, la plaque sensible ne reste pas parallèle à elle-même : sa direction varie d'un angle égal à celui des deux droites AB_1, AB_2. Quand on utilise les épreuves au stéréoscope, elles se retrouvent alors dans le même plan. M. Cazes (1) a étudié également en détail l'influence que peut avoir cette rotation du plan des épreuves autour d'un axe vertical ; il a montré qu'elle doit nuire à la reconstitution stéréoscopique de l'objet. Mais, en fait, nos yeux possèdent à ce point de vue, comme à beaucoup d'autres, une assez large latitude de fonctionnement, grâce à laquelle le défaut en question peut être considéré comme pratiquement nul entre certaines limites. Dans l'exemple cité plus haut, l'angle que font entre eux les plans des deux épreuves, c'est-à-dire l'angle B_1AB_2, est de 4 à 5° seulement. Cet angle est bien au-dessous de la limite pour

(1) L. Cazes, *Stéréoscopie de précision*, p. 27.

laquelle le défaut serait appréciable, dans les conditions où j'ai utilisé pratiquement le banc optique en question (faible épaisseur des objets photographiés, champ modéré, etc.), et on obtient encore de bonnes images stéréoscopiques pour une valeur trois à quatre fois plus grande de cet angle.

Illusion cinématographique dérivée d'un effet de relief stéréoscopique variable. — Nous avons vu plus haut que, par la simple manœuvre des deux disques D, D′, on peut obtenir une série de photographies d'un même objet présentant, au stéréoscope, une épaisseur apparente systématiquement croissante. Supposons qu'on examine toutes ces épreuves les unes après les autres, en les faisant défiler rapidement dans un cinématographe binoculaire : on devra avoir l'illusion de la déformation continue, et d'avant en arrière, de l'objet. J'ai construit un appareil cinématographique qui m'a permis de vérifier que le résultat est bien celui prévu. Remarquons que ce résultat est très différent de celui réalisé par les cinématographes ordinaires, puisqu'on a ici l'illusion du mouvement en profondeur, tandis que les cinématographes courants donnent seulement l'illusion de ce mouvement dans les directions transversales hauteur et largeur.

Comparaison entre l'observation d'une épreuve photographique à l'œil nu et son observation par l'intermédiaire d'un stéréoscope. — Dans les expériences précédentes, j'ai eu souvent l'occasion de comparer avec soin et en détail l'effet produit par la contemplation directe de l'objet lui-même à celui obtenu par l'observation de ses photographies, soit à l'œil nu, soit à l'aide du stéréoscope. Cela m'a permis de relever fréquemment une particularité que l'on a déjà signalée comme un défaut de la représentation graphique d'un objet par la photographie simple. J'ai été alors amené à opérer dans des conditions donnant, d'une manière intense, le défaut en question.

Supposons que l'on photographie simultanément plusieurs objets *semblables* géométriquement, mais *de grandeurs différentes*, en les plaçant à des distances de l'appareil qui soient entre elles comme les rapports de similitude de ces objets. Ils seront tous vus sous le même angle par l'objectif photographique. Ils se trouveront alors tous reproduits sur la plaque sensible avec des grandeurs identiques. Si l'on examine directement à l'œil nu cette épreuve plane et si l'on n'a pas de termes accessoires de comparaison, on jugera *identiques* en dimensions ces objets *qui ne sont que semblables*. L'aspect de l'épreuve sera absolument faux, comparativement à la réalité.

Admettons maintenant que l'épreuve ait été prise en double avec un appareil stéréoscopique, et que nous l'examinions au stéréoscope. Grâce à la sensation de profondeur donnée par cet appareil et à la variation de l'angle de convergence des yeux quand on passera de l'examen de l'objet le plus rapproché A à celui du plus éloigné Z, on reconstituera la vérité. On continuera bien à voir Z sous le même angle que A ; mais, comme la vision stéréoscopique fera sentir que Z est plus loin que A, on le jugera par là même de dimensions plus grandes. Cet effet se produit avec une telle intensité que, pour rendre l'impression éprouvée dans ce cas, on doit dire que le stéréoscope *fait réellement voir Z plus grand que* A, malgré l'identité de dimensions de ses images rétiniennes et de celles de l'objet le plus proche.

La *fig.* 3 représente trois flacons photographiés dans ces conditions. Ils paraissent identiques et rangés côte à côte, à la même distance de l'observateur, à tel point que, si l'on n'était pas prévenu, on ne songerait pas à mettre en doute la sincérité des trois étiquettes qui attribuent aux trois flacons la même contenance de 1 litre. Cependant, leurs contenances réelles sont respectivement 2 litres, 1 litre et 580 centimètres cubes. L'observation stéréoscopique de cette photographie n'étant guère possible ici pour le lecteur, je n'ai fait figurer que l'épreuve de l'œil gauche, et j'ai remplacé celle de



Fig. 3.



Fig. 3 *bis*.

l'œil droit par la *fig.* 3 *bis*, qui montre les mêmes objets photographiés en les plaçant, cette fois, côte à côte et à la même distance de l'appareil. On les voit alors avec leurs rapports réels de grandeurs.

L'examen stéréoscopique de la *fig.* 3 donne la sensation de ces rapports réels de grandeurs, d'une manière aussi parfaite que l'examen de la *fig.* 3 *bis* à l'œil nu ; mais les trois flacons apparaissent alors en même temps, en perspective, à des distances différentes de l'observateur.



Fig. 4.



Fig. 4 *bis*.

La *fig.* 4 montre, d'une manière plus complète, l'inexactitude d'aspect d'une photographie faite dans des conditions analogues. Elle contient deux types d'objets (flacons et verres). Sur cette épreuve, on juge les trois flacons identiques en dimensions et les trois verres inégaux, alors que c'est précisément l'inverse qui est vrai ; la *fig.* 4 *bis*, qui correspond à 4 comme 3 *bis* correspondait à 3, montre ces rapports de grandeurs réelles.



Fig. 5.



Fig. 5 *bis*.

Enfin, la *fig.* 5 exagère encore l'inexactitude d'aspect donnée par la photographie plane, en laissant croire la plus grosse celle des

deux sphères qui, en réalité, est la plus petite. On voit encore en 5 *bis* le rapport exact des dimensions des deux sphères, dont l'une (celle de gauche) a un diamètre de 24 centimètres, tandis que le diamètre de celle de droite est de $8^{cm},5$ seulement. Mais l'examen de l'épreuve 5 au stéréoscope fait sentir que la plus grosse des deux sphères est trois fois plus éloignée que l'autre.

Comme conséquence de ces faits, on est amené à mettre en doute, pour un certain nombre de cas, la légitimité d'une méthode adoptée généralement dans les cours de dessin, et qui consiste à prendre à bras tendu et avec une réglette graduée les mesures des dimensions relatives des divers objets à faire figurer sur le dessin. Il est clair qu'un dessin fait dans ces conditions, bien que géométriquement exact au point de vue de la perspective, comme le serait une photographie, pourra présenter néanmoins un aspect faux par rapport à la réalité.

J'ai cherché à vérifier expérimentalement cette conséquence, en faisant exécuter par deux dessinateurs non prévenus à l'avance des dessins d'objets empruntés à la *fig.* 4 (deux flacons inégaux et deux verres égaux). Après avoir installé le premier de ces dessinateurs à l'endroit même où était placé l'appareil photographique, je l'ai prié de prendre, à bras tendu, les mesures des dimensions des objets placés devant lui, et de traduire le résultat aussi fidèlement que possible sur le papier. J'ai prié, au contraire, le second (qui, naturellement, n'avait pas été prévenu de ce qu'avait fait le premier) de ne prendre aucune mesure, mais de chercher à bien se rendre compte de la forme et des dimensions des objets, par leur simple examen à distance, et de traduire le résultat sur le papier, de manière que le dessin donne la meilleure traduction possible des objets véritables. Les *fig.* 6 et 6 *bis* montrent les deux dessins faits dans ces conditions. On voit que le résultat est bien le même que celui que donnent les photographies 4 et 4 *bis*. Le dessin 6, exécuté d'après des mesures, est précisément celui qui a un aspect faux par rapport à la réalité.

La conclusion de ceci paraît donc être que, lorsqu'on aura à dessiner, d'après nature, un sujet dans lequel la perspective jouera un rôle important, et dans lequel des objets figureront, les uns dans des premiers plans très rapprochés, les autres dans des arrière-plans très éloignés, il ne faudra pas croire qu'on obtiendra nécessairement le meilleur effet possible en traduisant strictement les résultats donnés

par les mesures. Il pourra y avoir intérêt à diminuer les résultats des mesures faites sur les premiers plans, et à forcer, au contraire, ceux des mesures faites sur les derniers plans. A cet égard, la photographie pourrait être très utile aux peintres et aux dessinateurs, dans les cas embarrassants, en leur montrant immédiatement si l'épreuve photographique, prise du point de vue choisi, a un aspect assez peu correct pour qu'il y ait lieu d'appliquer des rectifications dans le sens qui vient d'être indiqué.

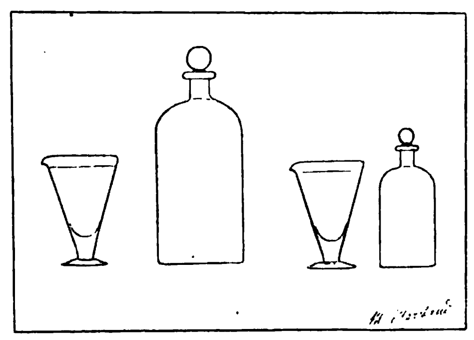


Fig. 6.

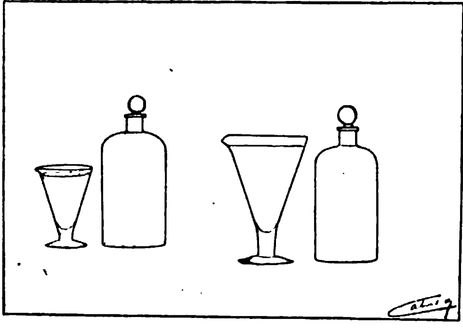


Fig. 6 *bis*.

Il n'est pas difficile, d'ailleurs, de s'assurer, sur des tableaux faits par des peintres de talent, que des rectifications de ce genre ont été faites, sciemment ou non, par eux, dans l'exécution de ces tableaux.

Les contradictions et inexactitudes relevées sur les épreuves des *fig.* 3, 4 et 5 mettent finalement en évidence, avec une grande intensité, ce fait déjà signalé bien souvent : *Dans la photographie plane, l'importance des premiers plans, au point de vue de la dimension des objets qui y figurent, est fortement augmentée au détriment*

de celle des derniers plans, qui est fortement diminuée. La vision stéréoscopique rectifie ces défauts et rend naturelle une image qui, examinée à l'œil nu, serait inacceptable.

Dans une collection quelconque d'épreuves stéréoscopiques, on en trouve qui, vues à l'œil nu, montrent des objets peu intéressants du premier plan qui envahissent la moitié de la surface totale de l'image, tandis que les derniers plans, qui contiennent la partie intéressante du sujet, passent à peu près inaperçus, à cause de la dimension trop restreinte de leur image. Avec le stéréoscope, l'aspect de ces épreuves est tout à fait transformé ; spontanément, l'œil néglige les premiers plans pour aller chercher, au fond de l'épreuve, les particularités intéressantes du dernier plan. Ce fait est bien connu de tous ceux qui s'occupent de stéréoscopie.

Il est un autre genre d'inexactitude que le stéréoscope peut corriger dans une épreuve photographique : c'est celle qui est due à une inclinaison très prononcée de l'axe de l'appareil, soit vers le haut quand on prend une vue d'un monument élevé, soit vers le bas quand on prend une vue plongeante.

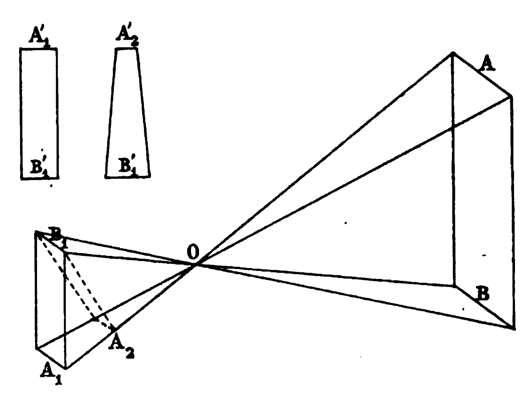


Fig. 7.

Soit AB (*fig.* 7) le sujet à photographier, que nous supposons rectangulaire, et O l'objectif placé à un niveau peu élevé au-dessus de la base B du monument. Si l'axe de l'appareil photographique est orienté dans la direction horizontale, la plaque sensible sera verticale, c'est-à-dire parallèle au monument AB. L'image de AB formée en A_1B_1 sera rectangulaire, comme le sujet lui-même, ainsi qu'on le reconnaît immédiatement à la seule inspection de la *fig.* 7. Si l'on

regarde l'épreuve de face, comme en $A_1'B_1'$, on aura une impression correcte qui sera celle d'un monument rectangulaire vertical, semblable au sujet.

Supposons, au contraire, qu'on dirige l'axe de l'appareil photographique vers le haut, comme on le fait souvent pour comprendre tout le sujet dans le champ de la plaque sensible. Alors l'orientation de cette plaque changera : elle cessera d'être verticale et, par suite, parallèle au sujet AB. Elle se présentera dans une direction inclinée, telle que B_1A_2. La *fig.* 7 montre que, sur cette plaque sensible, la dimension A_2 de l'image de A sera maintenant plus petite que celle de B_1, image de B. L'image définitive du monument ne sera plus rectangulaire comme tout à l'heure ; elle sera rétrécie vers le haut, et, vue de face, elle aura la forme du trapèze $A_2'B_1'$. Lorsqu'on regardera cette image, et qu'on l'interprétera en perspective comme un dessin quelconque, on n'aura pas l'illusion d'un objet vertical de forme trapézoïdale, mais bien celle d'un objet rectangulaire se renversant en arrière, et paraissant couché sur un plan incliné. On trouve bien cet effet sur la *fig.* 8, dans laquelle le sujet

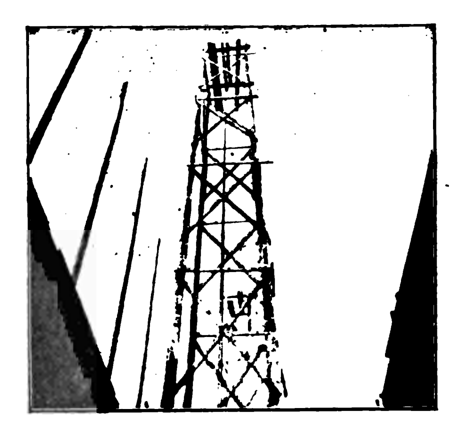


Fig. 8.

choisi se rapproche, autant que possible, de la forme théorique rectangulaire imaginée pour l'explication précédente. C'est précisément pour éviter ce défaut qu'on applique aux objectifs des appareils photographiques le dispositif bien connu sous le nom de décentrement, qui permet de faire entrer tout le sujet dans le champ de l'appareil, tout en laissant la plaque sensible verticale.

D'autre part, lorsqu'on examine directement à l'œil nu un monument élevé, au pied duquel on se trouve placé, il est nécessaire de diriger vers le haut les axes des yeux pour le voir en entier. La direction de la rétine au fond de l'œil cesse alors d'être verticale, et la forme de l'image rétinienne, au lieu d'être rectangulaire, devient trapézoïdale, comme dans le cas précédent. Malgré cela, on n'a pas l'illusion du renversement du monument en arrière; on le voit vertical. Il faut donc admettre qu'il y a là une question d'éducation de l'œil, en vertu de laquelle nous établissons instinctivement, par le fait d'une longue habitude, et même sans nous en rendre compte, une corrélation entre le degré d'inclinaison de notre rétine dans l'espace, par rapport à la verticale, et la forme trapézoïdale plus ou moins accusée de l'image rétinienne. Quand les deux termes entre lesquels nous établissons cette corrélation par l'habitude et l'éducation se correspondent, nous avons la sensation correcte de la verticalité de l'objet. Si, au contraire, ces deux termes sont en discordance, l'objet paraît incliné sur la verticale.

Si cette manière de voir est exacte, on devra, en plaçant la photographie trapézoïdale de l'objet dans un stéréoscope, continuer à voir cet objet incliné en arrière, si l'on dirige horizontalement l'axe du stéréoscope. Mais, si on le dirige peu à peu vers le haut, de manière que la direction de la rétine suive le même mouvement, il arrivera un instant où la direction de cette rétine dans l'espace sera précisément celle qu'il aurait fallu lui donner pour obtenir, en regardant l'objet lui-même, les deux images rétiniennes que le stéréoscope en donne à ce moment. La corrélation entre les deux termes variables dont je viens de parler existera alors, et on devra retrouver la sensation de la verticalité de l'objet. Si l'on dépasse cette inclinaison, le sujet devra sembler se renverser en avant. L'expérience montre que c'est bien ainsi que les choses se passent. M. Richard a fait remarquer depuis longtemps que les épreuves obtenues dans les conditions qui viennent d'être expliquées, par un appareil stéréoscopique (vérascope, par exemple), ont un aspect invraisemblable et inacceptable quand on les regarde directement à l'œil nu, en les tenant verticalement. Leur observation dans un stéréoscope n'améliore pas leur aspect, si on laisse l'axe de l'instrument horizontal; mais, si on le dirige peu à peu vers le haut, on voit l'objet se redresser pour devenir vertical quand on atteint le degré d'inclinaison voulu.

J'ai fait de nombreuses expériences, dans des conditions variées

et avec des angles d'inclinaison allant jusqu'à 70° sur la verticale, pour m'assurer que c'est bien lorsque l'inclinaison du stéréoscope est identique à celle de l'appareil photographique qu'on retrouve la meilleure sensation de la verticalité de l'objet. J'ai adapté à l'appareil photographique, d'une part, et au stéréoscope, d'autre part, un cercle gradué qui permet de mesurer leurs inclinaisons. En inclinant le stéréoscope sous le même angle que l'appareil photographique, on a l'objet reconstitué avec sa véritable position dans l'espace. Une inclinaison plus grande ou plus faible fait paraître, au contraire, l'objet reconstitué incliné en avant ou en arrière. On peut même, à l'aide de l'instrument muni de son cercle gradué, retrouver ainsi instinctivement, et avec une approximation de quelques degrés, l'angle sous lequel était incliné l'appareil photographique, lorsque l'épreuve a été prise. La sensation de la verticalité de l'objet reconstitué pour une inclinaison convenable du stéréoscope est alors assez nette pour que l'expérience réussisse très bien, même quand elle est réalisée par une personne n'ayant jamais vu, dans la réalité, l'objet lui-même.

Magnétostriction des aciers-nickels ;

Par MM. H. Nagaoka et K. Honda [1].

L'emploi croissant des aciers-nickels à la construction des instruments de précision, dû à la faible dilatabilité thermique de certains d'entre eux, rendait très désirable une détermination des changements de dimension qu'éprouvent ces alliages sous l'action d'un champ magnétique. Grâce à l'obligeance de M. L. Dumas et de M. Ch.-Éd. Guillaume, nous avons pu entreprendre cette étude sur divers alliages préparés dans les aciéries de la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville, et qu'ils ont bien voulu mettre à notre disposition.

On pourrait penser que la magnétostriction des alliages de fer et de nickel suit la loi des mélanges ; mais, comme on le verra, aucune relation de ce genre ne semble exister. Il est intéressant de noter dès

(1) Séance du 21 mars 1902.

maintenant que les alliages possédant la plus faible dilatabilité thermique éprouvent, dans un même champ magnétique, des variations de longueur très supérieures à celles que subit le fer ; quant à la variation de volume, elle est, de beaucoup, la plus grande qui ait été observée dans les corps ferro-magnétiques.

Les échantillons à examiner consistaient en ellipsoïdes (grand axe 200 millimètres, petit axe 10 millimètres, volume $10^{cm^3},45$) ou en fils de divers diamètres.

Les constantes de la bobine étaient les suivantes : longueur, 30 centimètres ; diamètre, $3^{cm},2$; résistance, $0^{ohm},56$; $4\pi n = 379,7$. La bobine était enfermée dans un vase à doubles parois à circulation d'eau ; l'échauffement par le courant était d'ailleurs extrêmement faible en raison de la faible résistance de la bobine, excepté pour des champs supérieurs à 1 000 gauss.

Variations de longueur. — Pour mesurer les faibles variations de longueur dues à l'aimantation, nous avons employé, comme dans des recherches antérieures, un appareil consistant en un levier optique d'une construction particulière, pourvu d'un petit prisme rectangle réfléchissant l'image d'un fil de verre fixé à la fente d'un collimateur.

La fente, placée au foyer principal de la lentille de collimation, était observée à l'aide d'une lentille à long foyer ($f = 66^{cm},95$) ; l'image

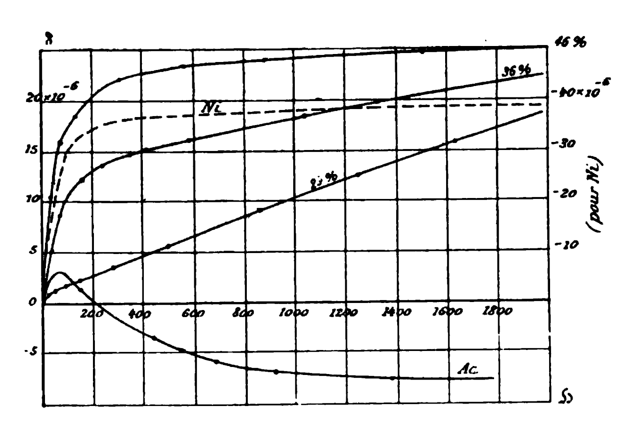


FIG. 1.

du fil était examinée à l'aide d'un oculaire à échelle micrométrique en dixièmes de millimètre. Une division de l'échelle correspondait généralement à une variation de longueur du fil égale à $0^{\mu},00435$.

L'emploi d'un micromètre à fils permettrait d'augmenter encore la précision.

Les résultats des mesures sur des aciers-nickels contenant respectivement 46 0/0, 36 0/0 et 29 0/0 de nickel sont indiqués dans la *fig.* 1. L'alliage à 46 0/0 éprouve les variations les plus grandes dans les champs faibles, mais s'approche rapidement d'une valeur limite. Les autres alliages ont une marche initiale moins rapide, mais semblent devoir varier plus que le premier dans des champs très intenses.

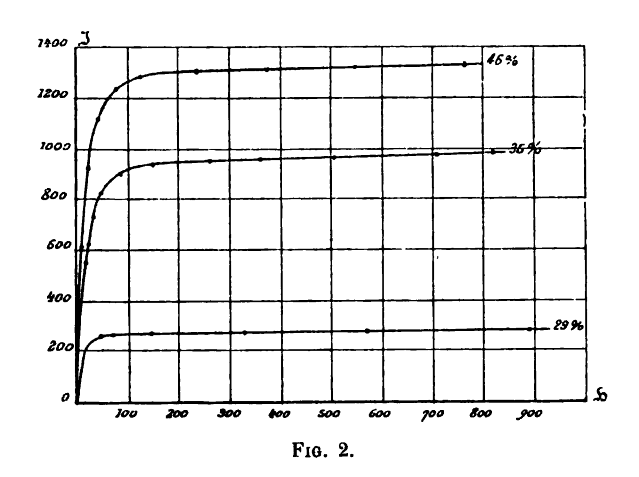


Fig. 2.

Les courbes, *fig.* 2, montrent que l'intensité de l'aimantation atteint rapidement une valeur limite pour les trois alliages, dont la susceptibilité suit l'ordre des teneurs. Avec l'alliage à 25 0/0, qui est très faiblement magnétique, nous n'avons pas pu constater le moindre changement qui soit d'un ordre de grandeur mesurable avec notre appareil.

L'allure du changement présente un contraste singulier avec celui qui a été observé dans le fer ou le nickel. Comme on sait, le nickel se contracte dans le champ, tandis que le fer, après s'être faiblement allongé dans les champs peu intenses, se contracte lorsque l'intensité du champ augmente. Les plus fortes variations trouvées pour le fer sont environ quatre fois moindres que celles du nickel [1].

[1] H. Nagaoka, *la Magnétostriction*. Rapports présentés au Congrès de Physique de 1900, t. II, p. 536.

Les variations trouvées dans l'acier au nickel sont d'un ordre de grandeur comparable à celles du nickel, et présentent une allure semblable, mais de signe inverse. Pour les champs très faibles, les variations sont de même sens que celles du fer, tandis que, pour les champs intenses, elles sont de signe contraire à celles qu'éprouvent les deux composants de l'alliage.

Pour faciliter la comparaison, nous avons reporté dans les diagrammes les variations observées pour des ellipsoïdes de nickel et d'acier de mêmes dimensions que celles de nos ellipsoïdes d'acier-nickel.

Les variations dans des fils d'acier-nickel recuit sont semblables à celles observées dans des ellipsoïdes de même teneur approximative, bien que l'aimantation ne soit pas tout à fait uniforme, en raison de leur forme géométrique.

Nous avons fait des mesures particulières des variations dans des champs faibles, à cause de l'importance du problème métrologique mentionné au début de cette note. Nous avons trouvé que les variations seraient inférieures à $0^{\mu},1$ par mètre pour des champs de même ordre que le champ terrestre, et pour les alliages de 36 et de 46 0/0 de nickel; il semble donc que la magnétostriction est actuellement sans importance pour l'emploi pratique des aciers-nickels en métrologie.

Variations de volume. — L'ellipsoïde à étudier était enfermé dans un réservoir cylindrique en verre fermé à la lampe à une extrémité,

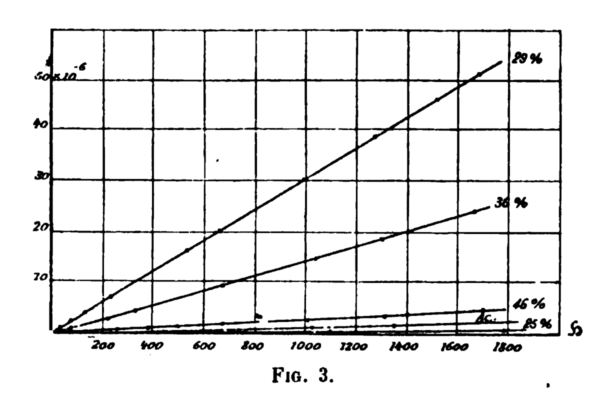


Fig. 3.

et muni à l'autre d'un tube de $0^{mm},4$ de diamètre intérieur; l'ellipsoïde était centré par deux bagues de laiton ajustées dans le réser-

voir. Ce dernier, rempli d'eau distillée, était placé dans la bobine ; on mesurait, à l'aide d'un microscope, les mouvements du liquide dans le tube capillaire.

Tous les aciers-nickels magnétiques présentent une forte variation de volume, comparée à celle du fer ou du nickel.

Le changement, représenté dans la *fig.* 3, est sensiblement proportionnel au champ. Avec l'alliage à 29 0/0 de nickel, le mouvement du liquide était d'environ 5 millimètres, de telle sorte que le changement pouvait être suivi à l'œil nu. C'est là probablement le plus grand accroissement de volume par aimantation qui ait jamais été observé. Même avec l'alliage à 25 0/0, le changement de volume est encore appréciable, bien que la variation de longueur n'ait pas pu être observée d'une manière certaine. Nous pouvons donc supposer que le maximum de variation sera fourni par un alliage contenant un peu plus de 25 0/0, peut-être l'alliage à 29 0/0 lui-même.

Il est donc maintenant hors de doute que l'aimantation produit des variations de volume, contrairement à ce qu'avait montré la première expérience de Joule. Il semble d'ailleurs peu probable que la variation puisse être attribuée au défaut d'homogénéité du matériel employé, comme le pense M. Rhoads.

La dilatation thermique ne paraît pas intervenir dans les changements de longueur produits par l'aimantation, puisque l'alliage le moins dilatable montre des variations de longueur et de volume sensibles.

Effet Wiedemann. — La torsion produite par l'action combinée d'un champ magnétisant longitudinal et d'un champ circulaire, phénomène découvert dans le fer par Wiedemann, a été mesurée dans nos fils placés verticalement dans la bobine, et parcourus par un courant d'intensité mesurée. Le fil était assez court (21 centimètres) pour que, dans la partie de la bobine utilisée, le champ pût être considéré comme uniforme.

La torsion était mesurée à l'aide d'un petit miroir fixé à l'extrémité inférieure du fil. La *fig.* 4 contient les résultats des expériences. On voit que, pour les trois échantillons étudiés, la torsion, pour un courant longitudinal déterminé, croît d'abord rapidement avec le champ, passe par un maximum et décroît ensuite lentement. On voit même que, pour un échantillon, la courbe descend, pour des champs intenses, au-dessous de l'axe des abscisses. Nous n'avons pas trouvé de relation bien nette entre la teneur en nickel et l'intensité du phé-

nomène, qui semble dépendre à la fois du champ magnétisant et du courant longitudinal.

Le sens du phénomène est le même que pour le fer, c'est-à-dire que, le pôle nord étant à l'extrémité inférieure du fil, et le courant étant dirigé de haut en bas, la torsion, vue d'en haut, est en sens contraire du mouvement des aiguilles d'une montre.

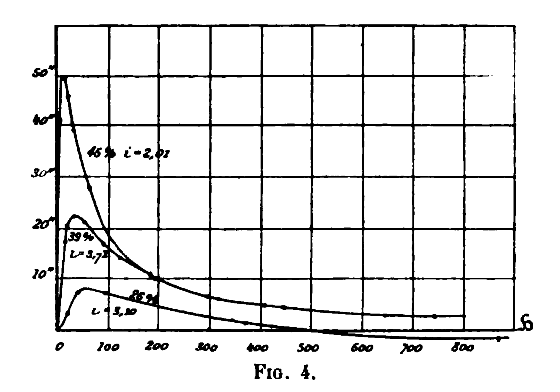


Fig. 4.

Relations réciproques. — Les relations réciproques entre les effets des tensions sur l'état magnétique et les contractions dues à l'aimantation, constituent l'une des caractéristiques essentielles de la magnétostriction dans le fer, le nickel et le cobalt. Les aciers-nickels que nous avons examinés ne constituent pas une exception à cette règle générale.

Lorsqu'on charge des fils d'acier-nickel, on ne constate aucun maximum correspondant au point critique observé par Villari dans le fer.

Conclusion. — Nous pourrons conclure de nos expériences que le caractère de la magnétostriction dans les corps ferro-magnétiques existe aussi dans les aciers-nickels, la différence consistant seulement dans l'amplitude et l'allure des changements, qui dépendent du matériel étudié. Les expériences décrites ci-dessus pourront contribuer, dans une certaine mesure, à nous faire connaître la nature intime des alliages dans lesquels le fer et le nickel se trouvent réunis.

[*Addition.* — Les expériences faites par l'un de nous (Honda) avec la collaboration de M. Shimizu ont montré que les variations de longueur sous l'action du magnétisme, dans des fils d'acier-nickel sous tension, diminuent à mesure que la charge augmente.

Pour des charges telles que l'on approche de la limite élastique, on observe une contraction dans les champs faibles et un allongement dans les champs intenses. Le caractère de ces variations est semblable à celui que l'on constate dans le cobalt.]

Remarques sur le travaìl de MM. Nagaoka et Honda ;

Par M. Ch.-Ed. Guillaume (1).

Les recherches de MM. Nagaoka et Honda sur la magnétostriction donnent lieu à deux genres de remarques : les unes se rapportent aux mesures elles-mêmes, les autres aux conclusions que leurs résultats permettent de tirer, relativement à la théorie des aciers-nickels.

On pourrait d'abord se demander si les phénomènes thermiques n'ont pas pu troubler considérablement les mesures des très petits allongements produits par le magnétisme. Indépendamment de la chaleur développée dans la bobine, et que les auteurs indiquent comme étant très faible et compensée par l'enveloppe d'eau, on pourrait penser que le simple fait de la variation du champ a pu produire un changement de la température des barreaux, conformément aux indications que donne le principe de Carnot appliqué aux variations d'aimantation d'un corps dans la région des températures où la susceptibilité est rapidement variable. Le sens de la variation dans les aciers-nickels à la température ordinaire est tel que l'action positive du champ devrait être d'échauffer l'échantillon, et de produire, par conséquent, une dilatation thermique. C'est bien, en effet, le sens des variations de longueur observées dans les fils ; mais, si telle était la cause des allongements observés, les variations de l'alliage à 29 0/0, assez fortement dilatable, et placé, aux températures ordinaires, dans la région de rapide variation du magnétisme, devraient être beaucoup plus grandes que celles de l'alliage à 36 0/0, dont la dilatation est presque nulle, et dont les variations magnétiques à la température ordinaire ne sont pas très rapides.

Les variations du volume ayant été observées dans un thermomètre

(1) Séance du 21 mars 1902.

à eau, on pourrait être tenté de croire que les mouvements du ménisque sont dus en partie à la dilatation du liquide. Mais les changements observés correspondraient, à la température ordinaire, à des variations de la température de l'ordre de *un demi-degré*, et il est bien inadmissible que ces variations eussent échappé à des observateurs attentifs. D'ailleurs, l'élévation de la température de l'eau devrait être graduelle, d'autant plus que les alliages en question sont très mauvais conducteurs, et on aurait dû observer, après l'établissement du champ, un mouvement lent du ménisque, bientôt suivi d'un lent recul produit par la dissipation de la chaleur. Les résultats de chaque mesure seraient alors distribués irrégulièrement, et non avec la parfaite régularité que montrent les courbes expérimentales de MM. Nagaoka et Honda.

On conclura de ces remarques que les phénomènes purement thermiques n'ont dû intervenir que pour une proportion insignifiante dans les résultats énoncés par MM. Nagaoka et Honda, et que les changements observés sont dus pratiquement en entier à la magnétostriction.

L'étude de ce phénomène semblait devoir résoudre la question encore très débattue de la théorie des ferro-nickels.

Au début de mes recherches sur les anomalies de ces alliages, j'avais émis l'hypothèse d'un état d'équilibre chimique, fonction de la température, et caractérisé par l'existence d'un mélange, en proportions variables, d'une combinaison de fer et de nickel avec du fer et du nickel isolés. Les faibles dilatabilités auraient trouvé alors leur explication dans la dissociation graduelle, sensiblement réversible, de la combinaison, produite avec une augmentation du volume moléculaire moyen.

M. Le Chatelier avait opposé à cette idée l'opinion que toutes les anomalies observées trouveraient probablement leur explication dans les transformations individuelles du fer et du nickel, dont le passage à l'état magnétique est très fortement retardé par la présence d'un autre élément dans le mélange.

Des expériences nombreuses et systématiques de M. Dumas l'ont conduit à admettre que, dans les ferro-nickels à faible teneur en nickel, le magnétisme appartient au fer, et s'élimine peu à peu par abaissement de la région de transformation, lorsque la proportion de nickel augmente. Au contraire, dans les hautes teneurs, le magnétisme appartient au nickel, et s'élimine aussi par abaissement

lorsque la proportion de fer augmente. L'irréversibilité des premiers serait due à l'hystérèse magnétique du fer, tandis que la réversibilité des seconds serait une conséquence de l'absence de cette propriété dans le nickel.

Comme les variations individuelles du fer et du nickel dans le champ magnétique sont de signes contraires au début, et présentent, dans leur ensemble, des différences d'allure considérables, on pouvait penser que l'étude de la magnétostriction permettrait de reconnaître les propriétés magnétiques individuelles du fer et du nickel.

On remarquera, à l'appui de cette opinion, que les changements de volume des ferro-nickels à magnétisme nul sont inappréciables, d'où l'on conclut que les variations observées dans les autres sont bien dues au magnétisme.

L'inspection des résultats de MM. Nagaoka et Honda est, à première vue, très décevante. Les changements observés ne ressemblent ni à ceux du fer, ni à ceux du nickel, ni à aucun de ceux que donnerait un mélange de ces corps, à l'exception cependant de l'effet Wiedemann, de même nature dans le fer et dans les ferro-nickels réversibles. On pourrait en conclure, à première vue, que M. Dumas s'est laissé induire en erreur par une apparence. Cependant sa théorie est si satisfaisante par d'autres côtés qu'il y a lieu de se demander si les phénomènes observés l'infirment définitivement.

Il suffirait, pour la mettre d'accord avec les nouveaux résultats, d'ajouter aux faits connus une hypothèse qui peut sembler bien naturelle.

J'ai montré autrefois qu'il existe des relations bien nettes entre les variations du magnétisme et les changements du volume des ferro-nickels. Toute augmentation de la susceptibilité magnétique est accompagnée, à température constante, d'une augmentation du volume; ou, si elle est la conséquence d'un abaissement de la température, elle a pour conséquence une diminution de la contraction normale.

Supposons que, dans la région de rapide transformation, l'action du champ magnétique soit de provoquer une augmentation de la susceptibilité magnétique, c'est-à-dire un accroissement de la transformation par rapport à ce qu'elle serait à la température considérée. Alors on devrait observer une augmentation du volume, conformément aux expériences de MM. Nagaoka et Honda.

On pourra donc se rallier, au moins provisoirement, à la conclusion que les expériences de MM. Nagaoka et Honda, sans être, à première vue, favorables aux idées de M. Dumas, n'apportent aucun argument qui leur soit contraire. Mais ces idées ont été combattues récemment par M. Osmond, qui leur oppose d'autres arguments.

Tout en étant parfaitement d'accord avec M. Dumas sur la réalité de la transformation du fer *seul* dans les alliages riches en fer, M. Osmond ne croit pas pouvoir admettre que, dans les alliages riches en nickel, la transformation de ce dernier métal soit seule en jeu. Partant d'une remarque tirée de mes expériences, M. Osmond admet, d'accord avec mon opinion, que les faibles dilatations sont dues à une augmentation interne de volume par abaissement de la température d'un des composants de l'alliage. Mais comme, dans toutes les transformations du fer et du nickel, une seule se produit avec augmentation de volume au refroidissement, celle du fer γ en fer α, il pense que c'est, de préférence, à cette transformation dans l'alliage que devra être attribuée l'anomalie de dilatation des alliages réversibles.

Cependant le croisement des courbes de transformation, mis en évidence par M. Dumas, ne paraît pas discutable, et si, dans les alliages riches en fer, le passage, doué d'hystérèse thermique, du fer γ en fer α produit, à n'en pas douter, l'augmentation visible de volume découverte par Hopkinson et dont j'ai étudié le détail, on ne comprend pas très bien comment cette même transformation pourra s'effectuer sur une autre branche de courbe, qui coupe manifestement la première. M. Osmond convient de la difficulté de cette explication, et il pense que l'on pourrait lui en substituer une autre, dans laquelle on ferait intervenir les transformations d'un composé Ni^2Fe, dont la température de transformation correspondrait au maximum observé pour les réversibles, et s'abaisserait de part et d'autre de ce point, suivant en cela la loi générale, lorsqu'on ajoute à ce composé défini du fer ou du nickel, qui se trouvent, dans l'ensemble, à l'état de solution.

Cette théorie ramènerait, en quelque sorte, à celle que j'avais émise au début. Mais il resterait à prouver qu'il existe bien un composé défini, Ni^2Fe, possédant des propriétés telles que ses transformations, dans une dissolution réciproque, permettent de rendre compte des phénomènes observés sur les aciers-nickels réversibles.

On voit que, sur un point important, la question reste ouverte. Les expériences de M. Dumas nous ont certainement rapprochés de la

vraie théorie des alliages de fer et de nickel ; mais l'idée qu'il en tire d'une transformation indépendante du fer seul et du nickel seul, bien que probablement exacte pour une partie des phénomènes, devra encore être modifiée ou complétée pour le reste, soit dans le sens indiqué par M. Osmond, soit dans une autre direction.

Le plus ou moins de validité des diverses théories en présence ne pourra être établi que par de nouvelles recherches, qui se poursuivent activement pour plusieurs des propriétés caractéristiques des aciers au nickel.

L'éclairage électrique par lampes à incandescence à filaments de carbone et sur le système économiseur Weissmann-Wydts ;

Par M. G. Weissmann [1].

On cherche depuis des années déjà à remplacer le filament de carbone des lampes à incandescence électrique par des filaments de composition plus ou moins variée et ne renfermant que peu de carbone ou pas de carbone du tout. Ces filaments nouveaux, quoique travaillés déjà depuis de nombreuses années, semblent être encore à l'étude et n'ont, en tout cas, encore reçu à ce jour aucune consécration pratique.

J'ai cru intéressant personnellement de rechercher s'il n'était pas possible de tirer un meilleur parti de ce vieux filament de carbone que l'on veut tant détrôner, et c'est le résultat de mes études dans cette voie, depuis bientôt cinq ans, que je me propose d'exposer. — Au dernier Congrès international d'Électricité, je faisais déjà ressortir que, s'il n'avait été réalisé aucun progrès, quant au rendement lumineux des lampes à filaments de carbone, cela ne tenait qu'à la nature même de nos systèmes de distribution.

Le désir d'obtenir des canalisations de grande capacité avec le moins de cuivre possible fait tendre, en effet, les concessionnaires à adopter des tensions relativement élevées, généralement 110 volts et souvent même 220 volts. Or, dans les limites des intensités lumineuses courantes, 5, 10 et 16 bougies, cela entraîne à employer forcé-

(1) Séance du 21 mars 1902.

ment des filaments de grande résistance électrique, c'est-à-dire extrêmement fins et très longs.

On a déjà publié de nombreux résultats d'essais sur ces lampes à filaments fins ; mais la plupart de ces résultats ont été obtenus sur accumulateurs, et ne sont pas en concordance avec ce que l'on observe en pratique. Les courbes de variation d'intensité lumineuse avec la durée obtenues par des essais sur accumulateurs ou sous tension constante, sont tout à fait différentes de celles auxquelles conduisent des essais sur courant de secteur.

Il ne faut pas oublier, en effet, que les élévations brusques de température, provenant des fluctuations à la tension de distribution, représentent l'élément destructif le plus à craindre pour les filaments de carbone, et que, quand on essaye ces filaments sur accumulateurs, on les soustrait à cette action destructive essentielle.

Les filaments fins des lampes courantes de 110 ou 220 volts sont particulièrement sensibles à ces fluctuations, parce qu'ils n'ont pas une masse suffisante pour faire volant de chaleur, et ils sont d'autant plus influencés par ces fluctuations qu'ils sont plus fins.

De nombreux essais m'ont amené à reconnaître :

Que les lampes de 110 volts 16 bougies consommant $3^w,5$ par bougie Heffner, soit 4 watts par bougie décimale, et fonctionnant sur courant normal de distribution, présentent une baisse moyenne d'intensité lumineuse de

5 0/0 environ après 100 heures,

et de

20 0/0 environ après 300 heures;

Que les lampes de 110 volts 16 bougies consommant $2^w,5$ par bougie, soit $2^w,80$ par bougie décimale, baissent de 25 0/0 de leur intensité initiale déjà à cent heures ;

Et que les lampes 110 volts 16 bougies de 2 watts par bougie Heffner, soit $2^w,25$ par bougie décimale, baissent de plus de 50 0/0 après cent heures.

Des essais sur un lot nombreux de bonnes lampes de 220 volts 16 bougies, consommant $3^w,5$ par bougie Heffner, soit 4 watts par bougie décimale, m'ont fait reconnaître que ces lampes baissent même sous tension constante d'environ 17 0/0, après cent heures seulement de durée.

Enfin, j'ai pu constater qu'à égalité de consommation spécifique, les lampes de 110 volts 10 bougies baissent beaucoup plus rapidement que les lampes de 110 volts 16 bougies, et que les lampes de 5 bougies 110 volts baissent beaucoup plus rapidement que celles de 10 bougies 110 volts.

D'une manière générale, pour des lampes de même tension, 110 volts par exemple, et de même consommation spécifique, $3^w,5$ par bougie par exemple, la courbe de variation de l'intensité lumineuse avec la durée est d'autant plus mauvaise que l'intensité lumineuse nominale de la lampe est plus faible. Pour des lampes de même tension, 110 volts par exemple, mais d'intensité lumineuse différente, la courbe de variation d'intensité lumineuse ne peut être maintenue sensiblement constante que si les consommations spécifiques sont appropriées à l'intensité lumineuse respective des lampes.

Ainsi, en prenant pour type la courbe moyenne obtenue avec des lampes de 110 volts 16 bougies à $3^w,5$ par bougie, on n'obtiendra une courbe sensiblement identique avec les lampes de 110 volts d'intensité lumineuse inférieure, 10 et 5 par exemple, qu'à la condition d'augmenter la consommation spécifique jusqu'à :

4 watts par bougie pour les lampes de 110 volts 10 bougies,

et

5 watts par bougie pour les lampes de 110 volts 5 bougies.

On obtient, au contraire, la même courbe pour des lampes de 110 volts d'intensité supérieure, 32, 50, 100 bougies, avec des consommations spécifiques moindres :

3 watts pour les lampes de 110 volts 32 bougies;
$2^w,5$ pour les lampes de 110 volts 50 bougies;
$1^w,8$ à 2 watts seulement pour les lampes de 110 volts 100 bougies.

Or il n'y a entre ces divers filaments qu'une seule différence bien saillante, c'est celle des dimensions des filaments; les filaments des lampes de 110 volts de faible intensité sont très fins; ceux de forte intensité sont gros. Il existe donc une relation bien marquée entre le rendement lumineux et le diamètre des filaments, et les chiffres précités indiquent que c'est aux filaments les plus gros que correspond le meilleur rendement.

Il est assez plausible d'admettre à ce sujet l'explication suivante :

Ce qui limite le degré d'incandescence d'un filament de carbone,

ce n'est pas la température moyenne, mais bien la température extérieure, car, l'intérieur du filament étant protégé, ce n'est qu'à l'extérieur que peut se produire l'arrachement électrique ou bombardement moléculaire. Le rendement lumineux dépend, au contraire, uniquement de la température moyenne, puisque les filaments rayonnent par leur masse. Or, pour un filament fin, la température moyenne est sensiblement égale à celle de la surface. Pour un filament gros, la température intérieure est supérieure à la température extérieure, et d'autant plus grande que le filament est plus gros. Donc, à température extérieure égale, c'est-à-dire à égalité de risque de désagrégation, la température moyenne d'un filament gros est supérieure à la température moyenne d'un filament fin; le rendement d'un filament gros doit donc être plus élevé que celui d'un filament fin. M. Elihu Thomson a trouvé que l'âme des gros filaments se transformait en graphite; M. le professeur Weber, dans ses remarquables essais sur l'incandescence, a trouvé une température de 1565 à 1588° pour les filaments fins, et 40° de plus pour des filaments plus gros.

Ces résultats sont évidemment de nature à confirmer l'explication que je viens de hasarder.

Le fait déjà signalé par M. Blondel, que les filaments gros ont, en raison de leur masse, un volant de chaleur qui atténue l'influence des variations de la tension de distribution, est certainement aussi à prendre en sérieuse considération.

Quelle que soit, d'ailleurs, la logique de ces explications ou hypothèses, il est indiscutable que les filaments gros sont plus économiques que les filaments fins. Or pour la tension de 110 volts, généralement adoptée, les lampes d'intensité lumineuse courante, 5, 10, 16 bougies, sont précisément à filaments très fins ; le diamètre des filaments de 110 volts 5 bougies est même le maximum de diamètre que l'on puisse obtenir, puisque les lampes de 110 volts d'intensité inférieure à 5 bougies sont irréalisables.

On n'a donc, en réalité, tiré à ce jour du filament de carbone que le maximum de rendement lumineux qu'il est susceptible de fournir sous la tension de 110 volts et non son maximum absolu de rendement lumineux.

Le système économiseur pour courants alternatifs que j'ai imaginé, avec la collaboration de mon excellent maître Blondel, permet d'obtenir des résultats bien meilleurs.

Le principe de ce système est d'abaisser d'une manière convenable et spéciale la tension du courant de distribution (110 ou 220 volts) au lieu même de l'utilisation et d'employer des lampes de tension bien inférieure à celle de distribution, des lampes à gros filaments.

Les lampes du commerce, dites de bas voltage, dont les dimensions du filament sont déterminées par des formules empiriques spéciales pour chaque constructeur, m'ont en général donné de mauvais résultats.

Il en est tout autrement, cependant, pour des lampes de basse tension établies rationnellement, en prenant pour filament une fraction de filaments de 110 volts déjà consacrés par l'usage.

Le cinquième, toutes choses égales d'ailleurs, d'un filament de 110 volts 100 bougies de $1^{w},8$ à 2 watts par bougie, donne un filament de 22 volts 20 bougies, équivalent comme qualité à celui de 100 bougies dont il a été fractionné.

Le cinquième d'un filament de 110 volts 50 bougies de $2^{w},5$ par bougie donne un excellent filament de 22 volts 10 bougies de $2^{w},5$ par bougie, alors que les lampes de 110 volts 10 bougies correspondantes consommeraient 4 watts par bougie.

Le cinquième d'un filament de 5 bougies 110 volts donne un filament de 1 bougie 22 volts, alors que les lampes de 1 bougie et même celles inférieures à 5 bougies sont irréalisables à 110 volts, etc.

La transformation nécessaire s'obtient en interposant, entre chaque groupe de lampes s'allumant ensemble et l'interrupteur qui commande directement ce groupe de lampes, un tout petit transformateur à circuit magnétique fermé, qui abaisse la tension au degré voulu.

L'interrupteur est sur le primaire du transformateur, de telle sorte que le transformateur fonctionne automatiquement avec le groupe de lampes qu'il alimente, ne travaille jamais à vide et toujours à pleine charge. Le rendement de ces petits transformateurs spéciaux, qui ne mesurent que $10^{cm} \times 10^{cm} \times 5$ centimètres, n'est pas inférieur à 91 0/0 pour le type le moins bon, celui de 30 watts, et atteint 97 0/0 pour le type de 150 watts. Tous ces petits transformateurs étant retirés du circuit en même temps que les lampes qu'ils commandent, il y a lieu de remarquer que toute cause de décalage est évitée.

Plusieurs milliers de lampes ont déjà été installées à Paris sur ce

principe par la Société l'Économiseur électrique, et nombre d'entre elles fonctionnent déjà depuis plus de six mois, accusant une économie réelle, qui oscille, par rapport aux lampes de 110 volts, entre 40 et 50 0/0, et de 50 à 60 0/0 par rapport à celles de 220 volts.

L'apparition sur les réseaux de distribution, grâce à ce système, des lampes de 2 bougies ne consommant que 6 watts, et même de lampes de 1 bougie, mérite d'être signalée tout particulièrement.

Mesure de l'acuité auditive;

Par M. Marage ([1]).

Cette question est une des plus controversées de la physique biologique ; cela tient à différentes causes que nous examinerons dans cet article.

L'audition, abstraction faite de tout phénomène psychique, est une fonction qui a pour but de faire parvenir jusqu'au nerf acoustique, en les transformant ou non, les vibrations qui ont été produites dans un milieu solide, liquide ou gazeux.

Cette fonction de l'audition s'accomplira plus ou moins bien ; son degré de perfection est mesuré par l'acuité auditive.

On évalue l'acuité auditive au moyen des acoumètres, que l'on appelle encore des audiomètres.

L'acoumètre idéal serait celui qui permettrait de produire, dans les conditions déterminées, toutes les vibrations qui peuvent parvenir jusqu'au nerf acoustique.

Il faut donc d'abord déterminer la nature de ces vibrations.

On peut les diviser de la façon suivante :

Vibrations.	Continues....	A. Non périodiques irrégulières.	Bruits.	
		B. Périodiques régulières.	Simples	Diapasons à branches.
			Complexes.	Plusieurs diapasons ; instruments de musique ; diapasons à anches.
	Discontinues.	C. Périodiques régulières.	Parole.	

([1]) Séance du 5 avril 1902.

Tous les acoumètres peuvent être rangés dans une de ces catégories : les uns (A) reproduisent des bruits ; les autres (B), des vibrations musicales ; les derniers (C), des vibrations de la parole.

Nous étudierons successivement un type de chacun de ces appareils ; puis nous en ferons la critique, c'est-à-dire que nous examinerons ce que ces instruments donnent en pratique et s'ils mesurent exactement l'acuité auditive ; cela nous permettra d'expliquer les divergences qui existent entre les auteurs.

I. — *Différents acoumètres.*

A. ACOUMÈTRES REPRODUISANT DES BRUITS. — Lorsque, au moyen de la méthode graphique, on prend le tracé de la vibration que produisent, par exemple, deux planches frappées fortement l'une contre l'autre, on obtient une courbe continue et irrégulière ; il est impossible d'y trouver de période ; l'amplitude va en diminuant à mesure que le son diminue d'intensité ; c'est ce que l'on appelle un bruit ; on peut donc dire qu'un bruit est caractérisé par une vibration continue non périodique irrégulière ; naturellement ce son a une certaine tonalité qui est représentée par le nombre de sinuosités que l'on trouve dans la courbe pendant l'espace d'une seconde ; ces vibrations sont les plus simples et, toutes choses égales d'ailleurs, les plus faciles à entendre. — Nous prendrons comme type des acoumètres qui rentrent dans cette catégorie le pendule de Kämpfe. « Le son est produit par le choc, contre un bloc d'ébène, de boules fixées à l'extrémité de tiges de pendule ; les données de l'appareil sont les suivantes :

« Base en chêne : 45 centimètres de longueur, 15 centimètres de largeur, 3 centimètres d'épaisseur ; colonne centrale (acier) : 33 centimètres de hauteur, 2 centimètres de diamètre moyen ; traverse en haut de la colonne : 8^{cm},5 de longueur et 1 centimètre de diamètre ; longueur des tiges du pendule (en bois) : 30 centimètres ; diamètre des tiges du pendule (en caoutchouc durci) : 3 centimètres ; bloc sur lequel elles frappent (en ébène) : 7 centimètres de longueur, 5 centimètres de largeur et 6 centimètres de hauteur. Ce bloc est collé à la base, au lieu d'y être fixé par des vis, et l'ouverture qui y est pratiquée est assez grande pour qu'il ne touche pas à la colonne centrale, de manière à assurer des sons aussi uniformes et aussi simples que possible. Les pendules oscillent sur des pointes. Les arcs de l'instru-

ment étaient divisés en degrés et même, dans quelques endroits, en dixièmes de degré.

« L'instrument tout entier est supporté par d'épaisses pièces de feutre pour empêcher toute résonance de la table sur laquelle on opère.

« Lorsqu'on se sert de l'instrument, il faut l'installer de manière que les pendules oscillent librement et que les boules, au repos, touchent juste le bloc d'ébène. »

Le tableau suivant, indiquant la relation entre l'angle d'écart et l'intensité du son, a été donné par Kämpfe :

Table des intensités relatives des sons lorsque le pendule acoustique tombe d'un angle compris entre 30 *et* 50°, *le son qui correspond à* 40° *étant pris pour unité.*

Angle	Intensité	Angle	Intensité	Angle	Intensité
30°	0,57	37°	0,86	44°	1,20
31°	0,61	38°	0,91	45°	1,25
32°	0,65	39°	0,95	46°	1,31
33°	0,69	40°	1,00	47°	1,35
34°	0,70	41°	1,05	48°	1,41
35°	0,77	42°	1,10	49°	1,47
36°	0,82	43°	1,15	50°	1,53

Supposons maintenant que les auteurs suivants aient éprouvé le besoin de perfectionner l'appareil de Kämpfe, les uns en changeant le bloc d'ébène et en le remplaçant par du bois d'une autre nature ou par une plaque métallique, les autres en modifiant la boule du pendule, et nous aurons une série d'instruments fondés sur le même principe, mais donnant des bruits différents, par conséquent n'étant pas comparables entre eux.

B. Acoumètres reproduisant des vibrations musicales. — Ces instruments donnent tous des vibrations continues périodiques régulières, c'est-à-dire des vibrations représentées graphiquement par une sinusoïde ou par une combinaison de sinusoïdes.

L'appareil le plus simple appartenant à cette catégorie est le diapason électrique, qui se trouve dans les cabinets de physique et qu'il est inutile de décrire ici.

Ce diapason peut porter sur ses branches des curseurs mobiles en cuivre, de manière qu'il soit facile de faire varier sa tonalité.

Généralement, les auteurs ne se sont pas contentés du diapason, et ils y ont introduit des modifications qui reposent toutes sur le même principe.

Nous allons en décrire deux types : celui de Gaiffe et celui de d'Arsonval.

a) *Acoumètre de Gaiffe.* — Ce constructeur ne se sert pas des sons du diapason, mais du son produit dans un téléphone par un courant d'induction provenant d'une bobine influencée par l'électro-aimant du diapason.

Supposons que nous ayons une bobine induite mobile par rapport à la bobine inductrice fixe qui fait vibrer le diapason ; l'extrémité du fil de cette bobine induite communiquerait avec un téléphone que le sujet porte à son oreille ; ce téléphone vibrera à l'unisson du diapason, et l'intensité du son qu'il rendra variera avec la position de la bobine inductrice ; le dispositif consistera donc à faire varier facilement la position des deux bobines l'une par rapport à l'autre, de manière à modifier l'intensité du son du téléphone. De plus, ce diapason porte des curseurs, ce qui permet d'obtenir des tonalités différentes.

b) *Acoumètre de d'Arsonval.* — M. d'Arsonval a simplifié d'une façon très ingénieuse l'appareil précédent; il supprime la bobine induite et il fait communiquer les deux bouts du fil inducteur avec le téléphone qui vibre avec force à l'unisson du diapason sous l'influence de l'extra-courant de rupture. Pour modérer cet extra-courant, on le fait passer à travers un tube plein d'eau; une tige métallique, plongeant d'une quantité variable, augmente ou diminue la longueur de la colonne d'eau parcourue par le courant et, par suite, l'intensité de l'extra-courant ainsi que l'intensité du son ; il suffit de lire la longueur de la colonne d'eau pour avoir l'intensité du son.

Tels sont ces deux modèles, les plus simples et les plus pratiques ; naturellement chaque constructeur s'est ingénié à perfectionner ces appareils ; mais le principe est toujours le même, et il est inutile d'insister.

Tous ces appareils donnent des sons de même nature et, par conséquent, comparables entre eux.

On était donc en droit de supposer que l'on avait trouvé l'acoumètre idéal ; mais la pratique a vite fait disparaître cette illusion.

En effet, ces instruments n'indiquent que d'une manière très approximative la façon dont la parole est entendue : un sujet peut avoir, à l'un des acoumètres précédents, une acuité auditive assez bonne et cependant entendre la voix d'une façon plus que médiocre ; c'est un gros inconvénient, nous allons en chercher la cause.

C. Acoumètres reproduisant la parole. — Cela tient à ce que les vibrations de la parole sont beaucoup plus complexes que toutes les vibrations fournies par les appareils que nous venons de décrire. En effet, l'organe vocal, le larynx, fournit des vibrations périodiques [1], qui donnent naissance aux voyelles; mais, sur ces vibrations, viennent s'en greffer d'autres, produites par la fourniture des tuyaux supra-laryngiens, pharynx, nez, bouche, etc. Ce sont ces dernières vibrations qui donnent la caractéristique de chaque voix. Ces vibrations fondamentales périodiques régulières intermittentes des voyelles n'ont aucun rapport avec les bruits et avec les vibrations sinusoïdales des acoumètres Gaiffe et d'Arsonval; il n'y a donc rien d'étonnant que ces instruments ne puissent pas donner des indications précises sur la façon dont la parole est perçue.

Aussi, en pratique, l'acoumètre le plus employé est-il simplement la voix de l'observateur : c'est encore l'instrument qui donnait les indications les moins inexactes.

Malheureusement, il n'y a pas deux voix comparables, à cause justement des vibrations secondaires qui accompagnent les voyelles ; j'ai donc fait construire un appareil dans lequel j'ai supprimé les vibrations accessoires produites par les résonateurs supra-laryngiens, et j'ai conservé seulement les vibrations fondamentales des voyelles.

Cet appareil est fondé sur les expériences que j'ai présentées en 1900 à la Société de Physique ; je le décris rapidement.

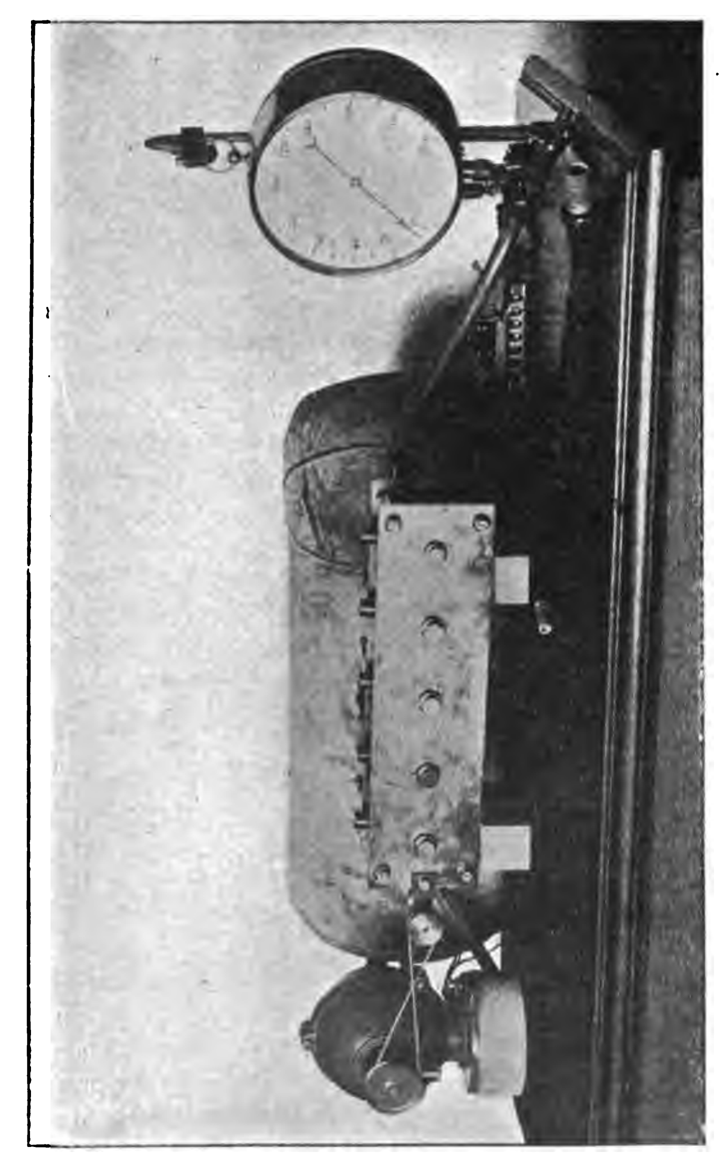
Il se compose (*fig.* 1) de cinq sirènes dont les plateaux mobiles sont commandés par un même arbre portant six poulies, une poulie pour chaque plateau ; dans la gorge de la dernière passe la courroie du moteur électrique, qui met le tout en mouvement.

Chacun des plateaux fixes est percé d'une seule fente, triangulaire pour reproduire OU, O, A, rectiligne et très étroite pour reproduire É et I; les fentes de chaque plateau mobile sont identiques à la fente fixe correspondante; pour reproduire la voyelle OU, les fentes triangulaires sont également distantes les unes des autres ; pour O, elles sont par groupes de deux, séparées par un intervalle représentant une fente bouchée; pour A, elles sont par groupes de trois; les fentes étroites sont par groupes de deux pour É; elles sont également distantes pour I.

Toutes ces fentes sont dirigées suivant les rayons du disque

[1] *Bulletin de la Société de Physique*, 1900: *Théorie de la formation des voyelles.*

mobile; des robinets permettent de faire arriver l'air provenant d'un


Fig. 1. — Sirène-accumètre servant à mesurer l'acuité auditive.

sac de caoutchouc dans une ou plusieurs sirènes ensemble ou séparément.

Avant tout, il fallait déterminer la relation existant entre la pression de l'air et l'intensité du son.

Pour cela, en écartant, comme toujours, les causes d'erreur, j'ai pris le tracé des voyelles artificielles, et j'ai mesuré à $\frac{1}{20}$ de millimètre près les amplitudes de ces tracés.

On se trouvait donc en présence des deux propositions suivantes, qu'il fallait démontrer exactes :

I. *Pour des déplacements ne dépassant pas 4 à 5 millimètres, l'intensité d'un son est proportionnelle au carré des déplacements d'une membrane vibrant sous l'influence de ce son.*

Ceci est presque évident, puisque l'intensité d'un son est proportionnelle au carré de l'amplitude de ses vibrations, et que les déplacements de la membrane sont proportionnels aux déplacements de la plume qui trace la courbe de la vibration.

II. *Toutes choses égales d'ailleurs, entre* 0 *et* 200 *millimètres d'eau* (*limites entre lesquelles les expériences ont été faites*), *l'intensité du son d'une sirène est proportionnelle à la pression de l'air qui traverse l'instrument.*

DÉMONSTRATION. — Appelons i et i' les intensités de deux sons d'une sirène, h et h' les pressions correspondantes de l'air qui passe à travers l'appareil, a et a' les déplacements correspondants de la membrane qui sont proportionnels aux amplitudes des vibrations; on veut démontrer que :

$$\frac{h}{h'} = \frac{i}{i'};$$

et comme :

$$\frac{i}{i'} = \frac{a^2}{a'^2},$$

il faut démontrer que :

$$\frac{h}{h'} = \frac{a^2}{a'^2}.$$

J'ai donc déterminé les déplacements a, a', a''... d'une même membrane soumise à l'influence d'une sirène vibrant sous des pressions h, h', h'', ..., mesurées par un manomètre métallique de Richard extrasensible, gradué en millimètres d'eau, et je comparais les rapports des pressions $\frac{h}{h'}$ aux rapports des carrés des déplacements de la

membrane mesurés expérimentalement, $\frac{a^2}{a'^2}$; les résultats sont les suivants :

$\frac{h}{h'}$	=	$\frac{a^2}{a'^2}$
$\frac{10}{20}$ (0,5)	....	0,54
$\frac{30}{40}$ (0,75)	....	0,68
$\frac{10}{80}$ (0,12)	....	0,14
$\frac{10}{100}$ (0,1)	....	0,09
$\frac{10}{120}$ (0,08)	....	0,1
$\frac{20}{160}$ (0,12)	....	0,09
$\frac{10}{180}$ (0,055)	....	0,046
$\frac{10}{200}$ (0,05)	....	0,044

Étant données les conditions dans lesquelles étaient faites les expériences, les résultats sont suffisamment concordants, et on peut admettre la deuxième proposition ; c'est-à-dire que les intensités du son d'une sirène sont proportionnelles à la pression de l'air qui traverse l'appareil :

$$\frac{i}{i'} = \frac{h}{h'}, \qquad \text{c. q. f. d.}$$

Maintenant que nous connaissons la relation entre la pression de l'air qui traverse la sirène et l'intensité du son produit par l'appareil, il va devenir facile de mesurer l'acuité auditive.

L'oreille à examiner est placée à une distance constante de l'appareil ($0^m,30$ par exemple), et on augmente l'intensité du son de l'instrument en augmentant la pression de l'air qui y arrive ; cette pression est mesurée au moyen d'un manomètre métallique gradué en millimètres d'eau.

Le son produit sous une pression de 1 millimètre est parfaitement perçu par une oreille normale. Si la pression pour une autre oreille doit être portée à 40 millimètres pour que le son soit entendu, on

pourra dire que l'acuité auditive est $\frac{1}{40}$; à 60, $\frac{1}{60}$; à 200, $\frac{1}{200}$, et ainsi de suite. Cette échelle a le grand avantage qu'elle correspond parfaitement à la façon dont la parole est perçue, ce qui est la chose importante pour les sourds.

On a donc ainsi un instrument de mesure très simple, toujours le même, et qui permet de savoir ce que l'on fait.

Remarque. — Quand un sujet commence à devenir sourd, généralement il observe sur lui-même les phénomènes suivants :

1° La montre, perçue normalement à une distance de $1^m,50$, n'est plus perçue qu'à une distance de plus en plus faible jusqu'au contact à l'acoumètre, l'acuité auditive est devenue $\frac{1}{2}$; l'intensité des vibrations d'une montre est très faible ; c'est pourquoi cet instrument indique bien le début d'une surdité ;

2° Lorsque l'acuité auditive, en diminuant, arrive à être comprise entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{10}$, le malade entend assez bien une conversation particulière ; mais, au milieu d'une conversation générale, il perd beaucoup de mots ;

3° A partir de $\frac{1}{10}$, si l'autre oreille est normale, le malade s'habitue à ne plus écouter que de la bonne oreille, et, de $\frac{1}{10}$ jusqu'à $\frac{1}{80}$ environ, nous avons différents degrés de surdité ; à partir de $\frac{1}{60}$, il faut s'approcher *très près* de l'oreille pour faire entendre les sons ; mais il n'est pas nécessaire d'élever la voix, il suffit de parler très lentement avec de bonnes vocables ;

4° Entre $\frac{1}{80}$ et $\frac{1}{200}$, il faut parler près du malade et de plus en plus fort ;

5° A partir de $\frac{1}{200}$, la parole n'est plus entendue que par l'intermédiaire d'un cornet acoustique ; si, par exemple, l'acuité est $\frac{1}{240}$, cela veut dire que le son de la sirène produit par une pression de 40 millimètres n'est perçu que par l'intermédiaire d'un tube acoustique muni d'une membrane vibrante.

Il s'agissait de voir ce que cette sirène valait en pratique ; je l'ai

mise en service depuis deux ans, et j'ai eu l'occasion de mesurer à peu près deux mille acuités auditives ; voici ce que j'ai constaté :

1° Il ne faut pas se contenter de mesurer l'acuité avec une seule voyelle, A par exemple, car il arrive souvent qu'un sujet possède pour A une acuité de $\frac{1}{10}$ et que cette acuité devienne $\frac{1}{100}$ pour I, $\frac{1}{30}$ pour O, $\frac{1}{50}$ pour E, etc. ; il faut donc mesurer l'acuité sur les cinq voyelles OU, O, A, E, I ;

2° Les indications de la sirène-acoumètre sont parallèles à celles qu'observe le malade dans une conversation particulière ; c'est-à-dire que tout changement en bien ou en mal mesuré par la sirène correspond à ce que le sujet a observé en écoutant la parole naturelle ;

3° La sirène-acoumètre sert à mesurer l'acuité auditive non seulement pour la parole, mais encore pour les vibrations des deux premiers groupes ; en effet, les bruits et les vibrations musicales sont toujours mieux entendus que la parole, ce qui n'a rien d'étonnant, puisque les vibrations de la parole sont les plus complexes ; cet acoumètre peut donc remplacer tous les autres ;

4° Dans les conseils de revision, il devient facile de mesurer l'acuité auditive des sourds vrais ou simulés, car un faux sourd ne pourra jamais supporter les sons les plus intenses de la sirène, transmis à l'oreille par un tube acoustique muni d'une membrane vibrante ;

5° Il est facile de représenter graphiquement les résultats obtenus en prenant comme ordonnées les acuités $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, etc., l'acuité normale étant représentée par 1, et, comme abscisses, les époques où l'acuité a été mesurée ;

6° Il est facile de construire des appareils identiques qui soient comparables entre eux.

Sur la réponse électrique de la matière vivante et animée, soumise à une excitation. — Deux procédés d'observation de la réponse de la matière vivante ;

Par M. J.-C. Bose (1).

L'effet de l'excitation sur une substance vivante est généralement mis en évidence par deux méthodes différentes. Dans le cas des tissus moteurs, l'excitation produit un changement de forme. On peut ainsi obtenir une *réponse mécanique* dans les tissus contractiles, comme les muscles. Dans d'autres tissus, les nerfs, par exemple, l'excitation ne produit aucune modification visible. Mais l'excitation du tissu peut néanmoins être manifestée au moyen de certaines variations de force électromotrice. L'avantage de la méthode d'investigation électrique réside dans sa généralité. Dans les cas où la *réponse mécanique* est observable, on trouve que les résultats de l'enregistrement mécanique et électrique sont pratiquement identiques. Dans la courbe de réponse (*fig.* 2), la partie ascendante est due à l'effet de l'excitation, la partie descendante correspond au retour spontané de la substance (*recovery*).

Le tissu vivant est toujours capable de réponse. Il répond à l'excitation, revient automatiquement et redevient prêt à une nouvelle réponse.

Le signe électrique de l'état de vie. — L'impulsion électrique est la mesure de l'activité physiologique du tissu. Quand l'activité physiologique est exaltée par un stimulant, l'impulsion électrique augmente d'amplitude. Quand l'activité est diminuée par des narcotiques, la réponse électrique est aussi diminuée. La réponse électrique disparaît au moment de la mort du tissu. On a pu dire, en conséquence, que « le signe le plus général et le plus délicat de la vie est la réponse électrique » (Waller). Ces phénomènes de réponse sont considérés

(1) Séance du 5 avril 1902.

Pour une description plus détaillée de ces recherches, voir les mémoires de l'auteur :

1. *De la généralité des Phénomènes moléculaires produits par l'Électricité sur la matière organique, sur la matière inorganique et sur la matière vivante.* Congrès int. de Physique 1900.

2. *Response of Inorganic matter to stimulus. — Friday Evening Discourse, Royal Institution*, 10 May 1901.

3. *Electric Response in Ordinary Plants and mechanical stimulus.*

généralement comme l'effet d'une « force vitale » inconnue, inaccessible aux investigations de la physique. Je me propose, dans le présent article, de montrer que cette opinion n'est pas justifiée. Je montrerai que le phénomène de la réponse, aperçu dans le cas de la vie, et resté caché jusqu'à présent dans la matière non vivante, existe aussi bien dans cette dernière.

Mais, avant de rechercher si les phénomènes de réponse des tissus animaux se rencontrent ou ne se rencontrent pas dans les substances inorganiques, il convient de voir s'ils ne sont pas parallèles à ceux que présente le monde intermédiaire des végétaux.

Les conditions de l'obtention de la réponse électrique. — Si nous prenons un tissu vivant, un fragment de nerf, par exemple, et que nous le frappions en C, les ondes de la perturbation excitatrice atteindront A et B (*fig.* 1 *a*).

Ce phénomène sera accompagné par des ondes de perturbation électrique. Si A et B sont dans le même état moléculaire, la perturbation électrique en A et B sera la même.

L'effet résultant sur le galvanomètre sera la force électromotrice $E_A - E_B$. Comme les deux termes de cette différence sont égaux, l'effet sur l'un des contacts fera équilibre à l'effet sur l'autre, et le galvanomètre ne montrera aucun effet résultant.

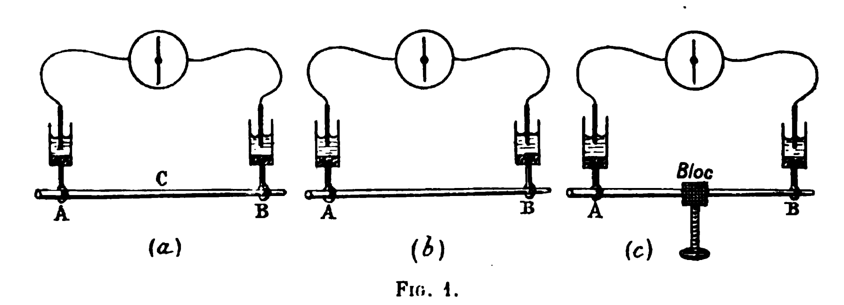


Fig. 1.

Si nous voulons obtenir une « réponse résultante » différente de zéro au galvanomètre, nous pouvons procéder de deux manières différentes :

1° *Méthode de la détérioration.* — Nous pouvons tuer une des extrémités, B par exemple, au moyen d'un poison ou par la chaleur. En excitant le tissu, on produira en A un effet qui ne sera compensé par aucun autre (*fig.* 1 *b*);

2° *Méthode du bloc.* — Nous pouvons aussi faire en sorte que l'excitation en A n'atteigne pas B, et réciproquement.

L'excitation donnera alors lieu à un courant passager de réponse allant dans un certain sens quand c'est A qui est excité, et en sens inverse quand c'est B qui est excité (*fig.* 1 *c*).

Nous pouvons nous servir de l'une ou de l'autre de ces deux méthodes pour montrer la réponse dans les plantes.

La méthode du bloc est plus parfaite, en ce sens qu'elle permet de doubler et d'inverser les observations.

La réponse des plantes est physiologique ou vitale. — Quand la plante est tuée par un poison ou au moyen d'eau chaude, la réponse électrique disparaît. Ce fait peut être montré d'une manière frappante en tuant l'une des moitiés de la plante (racine de carotte) avec de l'eau chaude, en constatant que la moitié morte ne donne aucune réponse, tandis que l'autre moitié manifeste une réponse énergique. On peut aussi tuer l'une des extrémités au moyen d'un poison tel que le bichlorure de mercure ou une solution concentrée de potasse. La réponse est abolie à l'extrémité tuée.

La réponse dans les métaux. — Je vais maintenant montrer que cette réponse électrique, qui est considérée comme un caractère de la vie, ne se limite pas aux objets vivants, mais appartient aussi bien aux corps inorganiques.

J'ai ici un morceau de fil métallique, j'excite l'extrémité A ou l'extrémité B, et vous observez le phénomène de la réponse électrique.

Je vais maintenant montrer que, non seulement les plantes et les métaux présentent le phénomène de la réponse, comme les tissus animaux, mais que ces réponses sont modifiées par l'influence des conditions extérieures exactement de la même manière que la réponse des tissus animaux.

Il n'y a pas une seule des circonstances de la réponse des muscles et des nerfs qui ne soit parallèle à un phénomène de réponse dans les métaux ou les plantes. Ce sujet est très étendu, et je ne puis ici mentionner que quelques-uns des faits les plus importants:

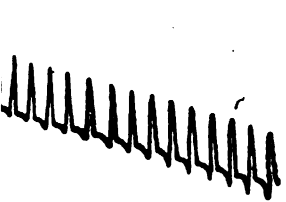
1° *Méthode de la détérioration et méthode du bloc.* — Dans les trois classes, substances animales, végétales et inorganiques, la réponse peut être obtenue par la méthode de la détérioration ou par la méthode du bloc.

2° *Réponse uniforme, fatigue et réponse en escalier.* — Dans le cas

des tissus animaux, il y a trois types de réponse à une excitation uniforme.

a) La réponse est *uniforme* dans les nerfs.

Le même genre de réponse se retrouve dans certaines plantes (radis) et métaux (étain) (*fig.* 2).





(*a*) (*b*) (*c*)

2. — **Réponse uniforme** : — (*a*) dans un nerf (Waller); — (*b*) dans une plante ; — (*c*) dans un métal.

b) Les réponses successives manifestent une diminution ou fatigue comme dans les muscles. La même chose se présente dans certaines plantes (céleri) et quelques métaux (*fig.* 3).



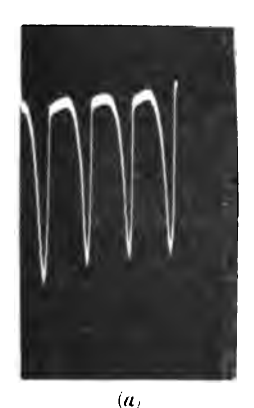

(*a*) (*b*)

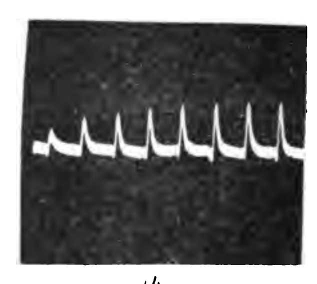
Fig. 3. — **Fatigue** : — (*a*) dans une plante (céleri) ; — (*b*) dans un métal (platine).

Dans les muscles, l'effet de la fatigue disparaît après une période de repos. Ceci est vrai, également, pour les plantes et les métaux.

c) Par contre, certains tissus animaux montrent une réponse croissante à une série d'excitations uniformes successives. Ceci est

connu sous le nom « d'effet en escalier ». Cette particularité se retrouve dans la réponse de plantes et de matières inorganiques (*fig.* 4).





(*a*) (*b*)

Fig. 4. — Réponse croissante (Effet en escalier) : — (*a*) dans une plante ; (*b*) dans un métal.

3° *Effets de superposition.* — Dans les types de substances, des excitations inefficaces deviennent efficaces par superpositions. Ou encore : des excitations se succédant rapidement produisent un effet maximum, auquel fait équilibre une force antagoniste ; une continuation n'augmente pas l'effet produit (*fig.* 5).



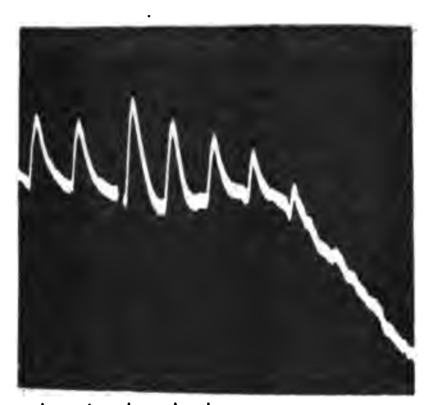


(*a*) (*b*)

Fig. 5. — « Tétanos » dans une plante (*a*) et dans un métal (*b*).

4° *Effet de la température.* — Dans les tissus animaux, une température trop basse produit une rigidité due au froid, et une tempé-

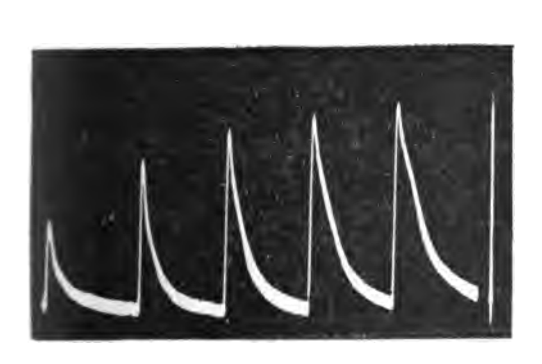
rature trop élevée une rigidité due à la chaleur, quand la réponse est supprimée. Dans les plantes, il est aisé de déterminer les points de mort correspondant à une température basse ou élevée. Dans les métaux aussi, une température trop basse produit quelquefois un état de torpeur qui réduit ou abolit la réponse. Une température trop élevée diminue aussi la réponse électrique (*fig.* 6).

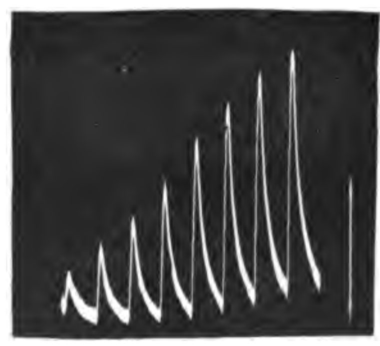


Avant. | Après.

Fig. 6. — Réponse d'une plante abolie par la vapeur.

5° *Relation quantitative entre l'excitation et la réponse.* — L'effet de l'excitation amenant la réponse n'est pas un phénomène acciden-





(*a*) (*b*)

Fig. 7. — Réponse croissante correspondant à une excitation dans une plante (*a*) et dans un métal (*b*). — La verticale placée à la droite de chacune des figures représente 1 volt.

tel; mais un accroissement de l'excitation produit toujours un accroissement de la réponse, avec une tendance à s'approcher d'une

limite, fait exprimé par la loi de Weber-Fechner. Non seulement nous rencontrons cette loi dans la réponse des tissus animaux, mais nous trouvons qu'elle persiste pour les plantes et les métaux.

6° *Action des substances chimiques.* — Effet des stimulants. — Des stimulants variés exaltent la réponse des tissus animaux. Je trouve aussi que divers agents, Na^2CO^3 par exemple, excitent la réponse électrique dans les métaux (*fig.* 8).

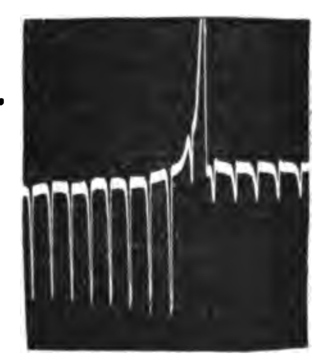
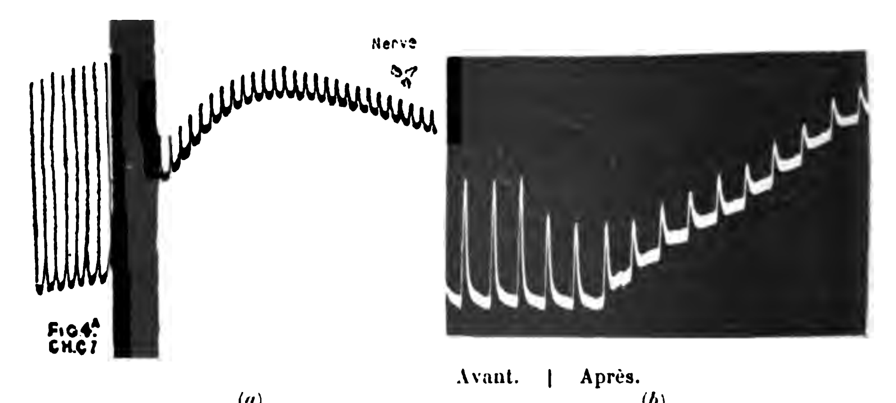


Fig. 8. — Action stimulante du carbonate de soude sur le platine.

Effet des déprimants. — D'autres produits amènent une dépression, le bromure de potassium par exemple.

Effet des narcotiques. — Quand un nerf est soumis à l'action du



Avant. | Après.

(*a*) (*b*)

Fig. 9. — Effet déprimant du chloroforme sur un nerf (*a*) (Waller) et sur une plante (*b*).

chloroforme, il présente une diminution continue de la réponse, à

mesure que l'effet anesthésique progresse. Je trouve des effets tout à fait similaires dans les plantes (*fig.* 9).

Effets des poisons. — Des poisons variés, tels que le bichlorure de mercure, la potasse concentrée, etc., tuent l'animal, et la réponse électrique disparaît avec la mort du tissu. C'est sur ce fait qu'est fondée l'expérience qui prononce en dernier ressort entre les phénomènes physiques et physiologiques. Ce qui est vivant est capable de mourir et nous pouvons accélérer la mort par le poison. Le signe de la vie, donné par les impulsions électriques, s'affaiblit jusqu'à cessation complète. L'immobilité moléculaire — la rigidité cadavérique — survient, et ce qui était vivant ne vit plus.

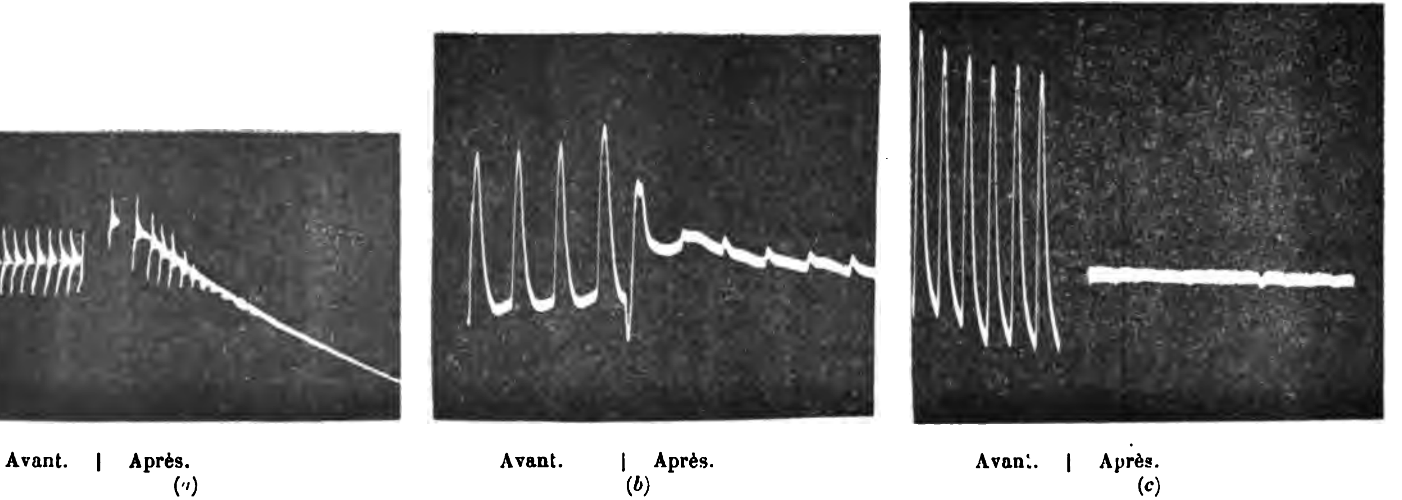
Je montre deux relevés graphiques sur lesquels on voit comment un nerf et une plante sont tués progressivement par l'action du poison — la potasse.

Pouvons-nous tuer de la même manière un morceau de métal? Voici un graphique qui montre comment la réponse de l'étain a été tuée par la potasse (*fig.* 10). L'acide oxalique est un poison mortel pour les animaux. C'est aussi un poison pour les métaux.

Effet de la dose. — Il reste le très curieux phénomène connu non seulement de ceux qui ont étudié la réponse physiologique, mais aussi dans la pratique médicale, que des effets opposés sont produits par la même substance donnée à forte ou à faible dose. Ici encore, les mêmes phénomènes se reproduisent d'une manière extraordinaire dans la réponse inorganique, le même réactif qui devient un poison en grandes quantités agissant comme stimulant employé à faible dose (*fig.* 11).

Nous avons vu que l'instabilité ou la faculté de réponse n'est pas limitée aux tissus vivants. Cette conception inexpliquée de l'irritabilité « devient le point de départ », pour citer les paroles de Verworn, « du vitalisme » qui, dans sa forme complète, affirme un dualisme de la nature vivante et inanimée. Les vitalistes ont, de bonne heure, mis de côté plus ou moins complètement les explications mécaniques et chimiques de phénomènes vitaux et introduit, comme principe explicatif, une « force hypermécanique » inconnaissable qui est censée tout diriger.

Tandis que les forces chimiques et physiques rendent compte de tous les phénomènes des corps inanimés, dans les organismes vivants cette force spéciale met en œuvre et règle toutes les actions vitales. Le simple mot de « force vitale » remplaçant toute explica-



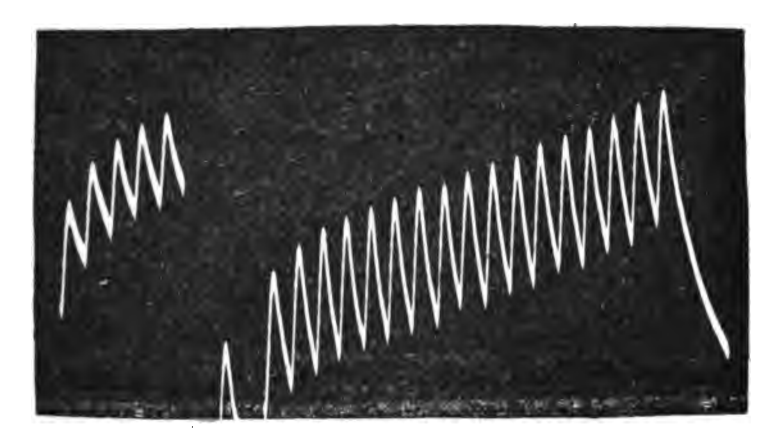
Avant. | Après.
(a)

Avant. | Après.
(b)

Avant. | Après.
(c)

Fig. 10. — L'état de mort communiqué par une solution concentrée de potasse caustique à un nerf (Waller) (*a*), à une plante (*b*) et à un métal (*c*).

tion a été considéré comme satisfaisant et signifiait une force mystérieuse appartenant aux seuls organismes.



Avant. | Après.

Fig. 11. — Action stimulante d'une faible « dose » de potasse sur un métal (à comparer avec la *fig*. 10, *c*).

J'ai montré que la réponse de la matière vivante dans ses diverses manifestations ne constitue que des répétitions de phénomènes physiques présentés par les corps inorganiques. Il n'y a en cela aucun élément de mystère ou de caprice, comme celui qu'introduit la supposition d'une force vitale hypermécanique agissant en contradiction et au défi des lois physiques qui gouvernent le monde de la matière. Nulle part, dans toute l'étendue de ces phénomènes de réponse, comprenant les animaux, les plantes et les métaux, nous ne découvrons une rupture de la continuité. Si jamais nous devons comprendre le mécanisme compliqué de la machine animale, il faudra cesser de se dérober aux problèmes qu'elle pose par l'usage de simples phrases qui n'expliquent rien.

RÉSUMÉ

Nous avons vu que les phénomènes de réponse n'imposent pas la supposition d'une force vitale. Ils sont, au contraire, des phénomènes physico-chimiques, susceptibles d'examen par les méthodes

physiques aussi bien que n'importe quel autre du domaine inorganique.

Les physiologistes nous ont montré comment on peut lire, dans les courbes de réponse, l'histoire de l'influence des divers agents et conditions extérieures sur le phénomène de la vie. Nous pouvons tracer, au moyen de courbes, la décroissance graduelle de l'activité quand la fatigue intervient, par des températures excessives, par des agents chimiques, l'exaltation produite par des stimulants et l'arrêt de la vie produit par le poison.

Les recherches que nous venons de décrire peuvent peut-être nous faire faire un pas en avant, en nous montrant que ces choses ne sont pas déterminées par une force vitale inconnaissable et arbitraire, mais par le fonctionnement de lois qui règnent également et uniformément sur le monde organique et inorganique.

Sur la cohésion des liquides;

Par MM. Leduc et Sacerdote [1].

Le simple fait qu'une corde, une tige de verre ou de métal, etc..., fixée à sa partie supérieure, ne se rompt pas malgré la pesanteur, montre qu'il existe, entre les tranches consécutives du solide, des forces de réunion dites *forces de cohésion*, dont la valeur par unité de surface est supérieure à $\frac{p}{s}$, p désignant le poids de la tige et s sa section.

De même, si l'on arrive à réaliser une *colonne liquide continue fixée par sa partie supérieure*, on pourra affirmer que ce liquide est doué de cohésion et que cette cohésion est supérieure à $\frac{p}{s}$, p désignant le poids de la colonne liquide et s sa section.

Il est, en outre, évident que, si l'on fait croître la longueur de cette colonne solide ou liquide, la pesanteur finira par l'emporter sur la cohésion, et il y aura rupture. Théoriquement, cette rupture devrait

---

(1) Séance du 18 avril 1902.

se produire à la partie supérieure, là où la traction est la plus forte; en réalité, elle se produit dans une région quelconque, là où il existe un point faible : paille pour le métal; vice de fabrication pour la corde; bulles d'air, même invisibles, pour le liquide.

Des vibrations plus ou moins énergiques pourront, du reste, provoquer cette rupture bien avant que l'on ait atteint la limite de cohésion.

Première partie. — Expérience de Gay-Lussac.

L'expérience. — Un disque de verre (*fig.* 1) étant suspendu horizontalement sous un plateau d'une balance et équilibré, si l'on amène une surface d'eau en contact avec sa face inférieure, elle y adhère; mettons ensuite des poids P dans l'autre plateau, le disque se soulève, entraînant avec lui une petite colonne d'eau; pour des poids suffisants, cette colonne atteint 5 à 6 millimètres, puis se rompt, une mince couche liquide restant adhérente au disque : telle est l'expérience bien connue due à Taylor et répétée par Gay-Lussac, Simon de Metz, etc...

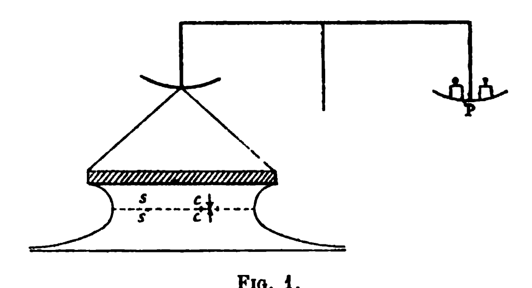


Fig. 1.

Son interprétation classique. — Dans bon nombre de traités de physique, cette expérience est interprétée d'une façon complètement erronée; — on dit, bien à tort, qu'elle donne une mesure plus ou moins imparfaite de la cohésion du liquide; — on dit :

Lorsqu'on a amené la surface d'eau en contact avec le disque, la couche superficielle y a adhéré; le disque, en se soulevant, a entraîné avec lui cette couche superficielle, puisque l'eau mouille le verre, et les autres couches ont suivi, par suite de la cohésion qui les unit à la première; la rupture a eu lieu lorsque les poids P l'ont

emporté sur cette cohésion ; on a donc :

$$C \leqq \frac{P}{S},$$

C désignant la force de cohésion par unité de surface ;
S, l'aire de la section de rupture ou, sensiblement, la surface du disque.

En opérant avec un disque de $11^{cm},8$ de diamètre, Gay-Lussac a vu la rupture se produire pour $P = 59^{gr},4$, d'où l'on déduit : $C \leqq 0^{gr},5$ environ ; on était ainsi amené à conclure que : *la cohésion de l'eau est de l'ordre de grandeur de* $0^{gr},5$ *par centimètre carré, c'est-à-dire équivalente à* 5 *millimètres d'eau environ* (1).

Son interprétation véritable. — Nous allons montrer que le raisonnement précédent est absolument inexact : *la cohésion du liquide n'intervient en rien dans cette expérience, qui réussirait tout aussi bien avec un liquide entièrement dénué de cohésion* (2).

Une comparaison le fera immédiatement comprendre :

Imaginons que la paroi d'une petite pompe aspirante soit très flexible, en caoutchouc mince, par exemple. La base du corps de pompe et le piston étant d'abord appliqués sur une surface d'eau, soulevons le piston ; *le liquide le suivra, poussé par la pression atmosphérique*, en même temps que la paroi s'incurvera sous l'influence de l'excès de la pression extérieure sur la pression intérieure.

Dans l'expérience ci-dessus, la paroi flexible est représentée par la membrane élastique, à laquelle on assimile la surface d'un liquide, et c'est encore la pression atmosphérique qui fait monter le liquide dans cette sorte de corps de pompe (3).

Les poids P, mis dans le second plateau de la balance, représentent donc simplement la différence des pressions hydrostatiques sur les

(1) On peut trouver ce nombre autrement : il suffit de remarquer que le poids de la colonne liquide soulevée est évidemment égal à P ; donc $\frac{P}{S}$ représente sensiblement la hauteur de cette colonne liquide, qui est bien de 5 à 6 millimètres.

(2) Il s'agit, bien entendu, de la cohésion intérieure et non de la cohésion superficielle.

(3) Pour que la cohésion intervienne dans cette expérience, il faudrait opérer dans le vide ou tout au moins dans une atmosphère dont la pression fût inférieure à celle que représente la colonne liquide soulevée. Or, contrairement à ce que l'on a souvent énoncé, cela est impossible avec l'eau, puisque la force élastique de celle-ci est mesurée, même à 0°, par une colonne d'eau supérieure à 6 centimètres, tandis que la colonne soulevée n'est que de 0,5 centimètre.

deux faces du disque, augmentée de la composante de la tension superficielle, si l'angle de raccordement n'est pas nul.

Quant à la rupture, elle se produit pour des raisons que nous développerons plus loin et qui, elles non plus, n'ont rien à voir avec la cohésion.

Pour confirmer cette manière de voir, nous avons répété l'expérience de Gay-Lussac avec tous les soins nécessaires, et nous l'avons soumise à des mesures précises; mais, avant d'indiquer ces vérifications expérimentales, nous allons faire la théorie de cette expérience.

Théorie.

Méridienne de la colonne liquide soulevée. **— Son équation est évidemment** $F\left(\frac{1}{\rho}+\frac{1}{\rho'}\right)+z\mu g=0$, **en désignant par**

z, l'ordonnée d'un point quelconque de la méridienne;
ρ, ρ', les rayons de courbure de deux sections normales rectangulaires par ce point;
$F\mu$, la tension superficielle et la densité du liquide;
g, l'accélération de la pesanteur.

Si l'on suppose d'abord le rayon du disque assez grand pour que la seconde courbure soit négligeable, il vient, en remplaçant $\frac{1}{\rho}$ **par sa valeur** $\frac{z''}{(1+z'^2)^{\frac{3}{2}}}$ **:**

$$\frac{F}{\mu g}\frac{z''}{(1+z'^2)^{\frac{3}{2}}}+z=0,$$

d'où, en intégrant :

$$(1) \qquad z=\sqrt{\frac{4F}{\mu g}}\cos\frac{\omega}{2},$$

ω **désignant l'angle de la tangente en M avec l'horizontale.**

A cette équation correspond la méridienne dessinée sur la ***fig.*** **2.**

Quand on soulève le disque, la forme de la méridienne reste invariable; mais la portion intéressée de cette méridienne croît de plus en

plus; on obtient les divers aspects α, β, γ (*fig.* 2), comme le confirme l'expérience[1].

Remarque. — L'angle de raccordement $\hat{\alpha}$ varie de π à o (*fig.* 2), ce qui est possible sur une arête vive ; sa valeur, pour un soulèvement donné z du disque, est donnée par l'équation (1), où on remplace ω par α.

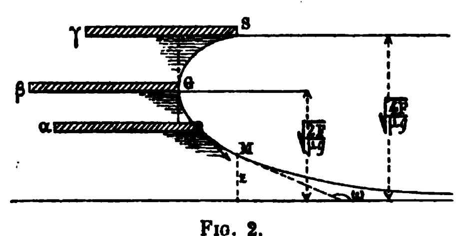


Fig. 2.

Remarque. — Si l'on veut tenir compte de deux rayons des courbures, le calcul est beaucoup plus compliqué [2] ; il montre qu'à mesure qu'on soulève le disque, non seulement la portion intéressée de la méridienne augmente, mais encore la forme de cette méridienne change légèrement. Entre l'angle de raccordement α et la

(1) Remarquons, en passant, que cette même courbe (ou sa symétrique) se retrouve dans beaucoup de phénomènes capillaires (*fig.* 3) :

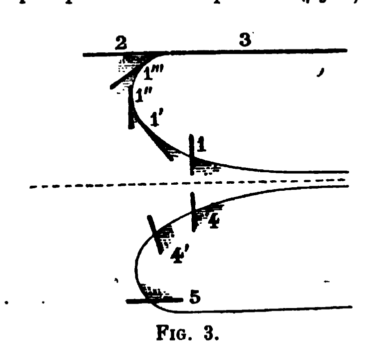


Fig. 3.

— Ascension d'un liquide le long d'une paroi verticale ou inclinée mouillée parfaitement ou non (1, 1', 1'', 1''').
— Expérience de Gay-Lussac (2), qui n'est, en somme, que le cas limite où la paroi, de plus en plus inclinée, est devenue parallèle à la surface liquide.
— Bulle d'un fluide moins dense à la surface d'un fluide plus dense (3).
— Dépression le long d'une paroi verticale ou inclinée non mouillée (4, 4').
— Goutte de mercure sur plan de verre (5).

(2) Consulter Laplace, *Œuvres*, t. IV, p. 467.

hauteur z du disque au-dessus de la surface du liquide, on a la relation approchée :

$$(1') \qquad z = \sqrt{\frac{4F}{\mu g}} \cos\frac{\alpha}{2} - \frac{1}{3R}\frac{2F}{\mu g}\frac{1 - \sin^3\frac{\alpha}{2}}{\cos\frac{\alpha}{2}},$$

dans laquelle R désigne le rayon du disque.

Calcul de l'effort P *nécessaire pour soulever le disque* à une hauteur z quelconque :

Cet effort devant équilibrer la différence des pressions hydrostatiques sur les deux faces du disque, ainsi que la composante due à la tension superficielle, on a :

$$(2) \qquad P = \pi R^2 z \mu g + 2\pi R F \sin\alpha \text{ [1]};$$

pour calculer cet effort P correspondant à une valeur donnée de z, on déduira α de (1) ou de (1'), et on portera la valeur obtenue dans (2).

Nous verrons plus loin que les valeurs ainsi calculées sont en parfait accord avec les valeurs observées.

Remarque. — Quand le disque a atteint la position γ (*fig.* 2), l'angle de raccordement α est égal à zéro ; on a donc, d'après (2), $P = \pi R^2 z \mu g$; mais, comme il est évident, d'autre part, que P représente le poids de la colonne liquide soulevée, on voit que :

Dans la position γ *du disque, le volume de la colonne liquide soulevée (creusée en gorge sur son pourtour) est rigoureusement égal à celui de la colonne cylindrique ayant même hauteur et pour base le disque.*

Causes de la rupture de la colonne liquide soulevée. — 1° *Si le disque se soulève tant soit peu au-dessus de la position* γ (*fig.* 4), *il y aura rupture ;* en effet :

Cette position γ correspond à l'ordonnée maximum $\sqrt{\frac{4F}{\mu g}}$ de la méridienne ; si on la dépasse, la méridienne LGS est obligée de se déformer en LGS', sa courbure diminue ; donc la *pression exté-*

---

[1] Il est nécessaire de signaler que ce second terme relatif à la traction due à la tension superficielle est toujours très petit, souvent négligeable par rapport au premier ; il est même rigoureusement nul pour $\alpha = 0$, c'est-à-dire dans la position γ du disque (*fig.* 2).

rieure H *l'emporte sur la pression intérieure et vient étrangler la colonne liquide;*

2° Si le rayon du disque est < SA (*fig.* 5), il y aura une certaine position D du disque (entre G et S) pour laquelle les *deux courbes*

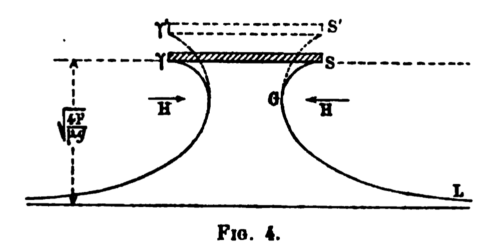


Fig. 4.

méridiennes se rencontreront, seront tangentes, et la rupture se produira.

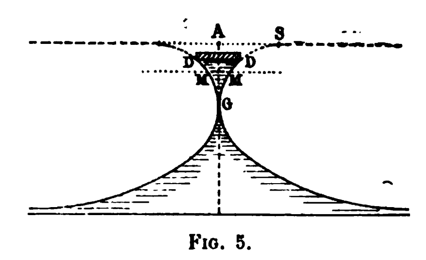


Fig. 5.

Telles seront les deux seules causes de rupture, si l'on soulève le disque au moyen d'une vis micrométrique, par exemple;

3° Mais, si le disque est suspendu sous le plateau d'une balance, comme dans l'expérience de Gay-Lussac, il y aura une autre cause de rupture que nous allons maintenant examiner.

Par un raisonnement géométrique excessivement simple, on démontrerait que le volume liquide soulevé (et, par suite, l'effort P à faire) augmente d'abord quand on commence à élever le disque, passe par un maximum pour une position MM (*fig.* 6) située entre G et S, et ensuite diminue.

Il s'ensuit immédiatement que *la rupture aura lieu lorsque le disque aura atteint le niveau* MM *de ce maximum*, puisque à la moindre oscillation de la balance les poids P mis dans l'autre plateau pour atteindre M l'emporteront sur l'effort à faire.

La cohésion du liquide n'intervient en rien dans aucune de ces causes de rupture.

Vérifications expérimentales avec l'eau.

Appareil. — Un disque circulaire D en verre, bien plan, à bords tranchants, de $8^{cm},65$ de diamètre, est suspendu sous un plateau d'une balance ; un petit niveau permet de vérifier son horizontalité,

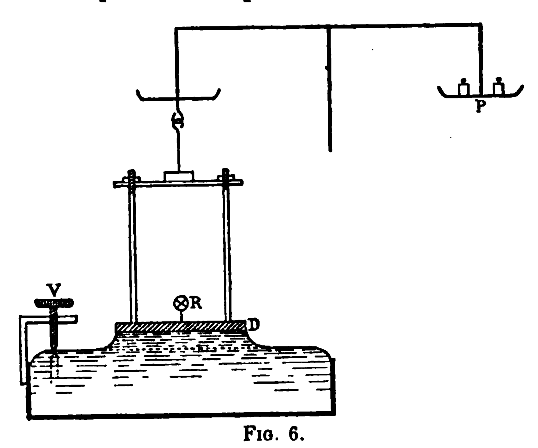


Fig. 6.

que l'on obtient par un réglage des tiges de suspension; — une vis V et un réticule R fixé au disque permettront de déterminer avec un cathétomètre le soulèvement du disque au-dessus de la surface libre du liquide.

Expérience. — Après avoir fait la tare du disque, on l'amène en contact avec la surface du liquide, en ayant soin de l'incliner pour éviter l'interposition de bulles d'air ; puis on ajoute progressivement des poids P dans l'autre plateau, et à chaque fois on détermine au cathétomètre la hauteur de la colonne liquide soulevée ; et ceci jusqu'à la rupture.

Remarque. — Les poids P sont d'abord constitués par des poids ordinaires, puis ensuite par de l'eau que l'on verse goutte à goutte au moyen d'une pipette et en évitant soigneusement les chocs ; sans ces précautions, on produirait la rupture pour des valeurs de P irrégulières et beaucoup trop faibles.

Résultats. — Dans le tableau suivant,

$P_{obs.}$ représente les poids mis dans le second plateau de la balance ;
z, la hauteur de la colonne liquide soulevée mesurée au cathétomètre ;
$P_{calc.}$, la valeur de P obtenue au moyen de la formule (2), en y remplaçant z par sa valeur observée, et α par sa valeur déduite de (1').

On a pris :

$$F = 75 \text{ C. G. S.}, \qquad \mu = 1, \qquad g = 981, \qquad R = 4^{cm},325.$$

$P_{obs.}$	z	$P_{calc.}$
$10^{gr},0$	$0^{cm},148$	$9^{gr},80$
20 ,0	0 ,308	20 ,05
25 ,0	0 ,392	25 ,14
28 ,0	0 ,445	28 ,06
30 ,0	0 ,486	30 ,18
30 ,2	0 ,489	30 ,30
30 ,7	0 ,503	30 ,90
rupture		

L'accord entre les $P_{obs.}$ et les $P_{calc.}$ est très satisfaisant ; en outre, la rupture de la colonne liquide soulevée a lieu lorsque sa hauteur dépasse légèrement 5 millimètres, valeur comprise, comme cela devait être, entre les ordonnées des points G et S ;

$$z_G = \sqrt{\frac{2F}{\mu g}} = 3^{mm},9, \qquad z_S = \sqrt{\frac{4F}{\mu g}} = 5^{mm},5.$$

Vérifications expérimentales avec le mercure.

Des expériences exécutées par Gay-Lussac avec le mercure, il semblait résulter que le disque adhérait bien à sa surface, mais qu'il s'en détachait sous l'action de poids P variables très irrégulièrement (de 158 grammes à 296 grammes pour le disque de $11^{cm},8$ de diamètre) et sans qu'il y ait soulèvement sensible du mercure.

Il n'en est rien : la marche du phénomène est la même avec le mercure qu'avec l'eau, et les vérifications numériques se font tout aussi bien.

Des résultats consignés dans le tableau suivant, il résulte en effet qu'à mesure qu'on ajoute des poids, le mercure est progressivement soulevé ; ces poids P sont bien égaux à chaque instant à la différence des pressions hydrostatiques sur les deux faces du disque augmentée de la traction due à la tension superficielle ; quant à la rupture, elle a lieu pour une valeur de P déterminée au moment où l'angle α atteint une valeur égale à l'angle de raccordement du mercure pour le verre, comme cela était à prévoir.

$P_{obs.}$	x	$P_{calc.}$
50^{gr}	$0^{cm},058$	$50^{gr},18$
100	0 ,116	100 ,03
110	0 ,127	109 ,85
115	0 ,134	115 ,38
120	0 ,140	120 ,48
125	rupture	$\alpha = 132^{\circ}\,13'$

Deuxième partie. — EXPÉRIENCES DESTINÉES A METTRE EN ÉVIDENCE LA COHÉSION DES LIQUIDES ET A EN DONNER UNE LIMITE INFÉRIEURE.

Nous avons beaucoup insisté sur l'expérience de Gay-Lussac, parce qu'elle était la seule invoquée jusqu'à présent dans les traités comme preuve de la cohésion des liquides; de ce qui précède, il résulte clairement qu'elle ne nous renseigne en rien sur ce point.

La question de la cohésion des liquides restait donc entière? Y a-t-il ou n'y a-t-il pas cohésion et, si oui, quel en est l'ordre de grandeur ?

Pour la résoudre, il faut, comme nous l'avons dit au début, essayer de réaliser une colonne liquide continue soutenue par sa partie supérieure; nous y sommes parvenus par les deux procédés suivants :

1° Ascension capillaire dans le vide;

2° Emploi des baromètres tronqués.

1° *Ascensions capillaires dans le vide.*

Dans un tube capillaire de rayon r (*fig.* 7), l'eau s'élève à une hauteur h sensiblement égale à $\frac{2F}{r}$, r désignant le rayon du tube et F la tension superficielle du liquide.

Soit ϖ la pression ambiante mesurée en colonne d'eau.

A la base de la colonne liquide soulevée s'exerce de bas en haut une pression ϖ supérieure à la pression $(\varpi - h)$ (¹) qui s'exerce de haut en bas sur son sommet : *la colonne liquide est donc soutenue par-dessous.*

Si l'on diminue la pression ambiante, il en est encore de même tant que $\varpi \geqq h$.

(¹) $h = \frac{2F}{r}$ représente, en effet, la diminution de pression qui se produit en traversant le ménisque et qui est due à sa courbure.



Mais, au delà, si la colonne liquide ne se rompt ni ne s'abaisse, le niveau de pression nulle descendra de plus en plus au-dessous du ménisque : la région inférieure de la colonne, sur une longueur ϖ,

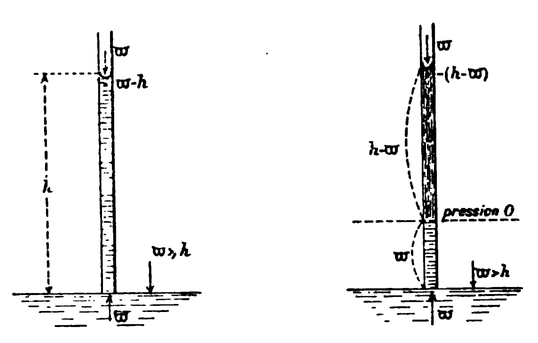


Fig. 7.

sera toujours soutenue par-dessous, mais la *partie supérieure* $(h - \varpi)$ *sera, en quelque sorte, suspendue à la membrane superficielle*, qui est elle-même fixée à la paroi du tube ou, plus exactement, à la mince couche d'eau qui la recouvre.

Nous aurons réalisé une colonne liquide de longueur $(h - \varpi)$ soutenue par sa partie supérieure et qui ne se rompt pas, grâce à la cohésion.

Remarque. — Pour que l'expérience soit probante, il est donc absolument nécessaire d'amener la pression ambiante à une valeur ϖ inférieure à h; or, en admettant même qu'on arrive à faire le vide d'air absolu, il restera toujours la pression maximum de la vapeur d'eau qui, à la température ordinaire, est équivalente à 20 centimètres d'eau environ; d'où la double nécessité d'employer un tube capillaire assez fin pour que l'eau s'y élève à plus de 20 centimètres et de réaliser un vide d'air très parfait.

C'est dire que l'expérience qui a été faite bien des fois, et qui consiste à placer un tube capillaire quelconque sous la cloche d'une machine pneumatique ordinaire, ne prouve absolument rien.

Remarquons qu'il faut, en outre, *purger d'air le liquide, avec beaucoup de soins*, car, s'il reste la plus petite bulle d'air, dès qu'on diminuera la pression, on la verra grossir et rompre la colonne.

Appareil. — L'appareil qui nous a servi à réaliser l'expérience est représenté par la *fig.* 8 : un tube capillaire C, de $0^{cm},007$ de dia-

mètre environ, est élargi à sa partie inférieure et soudé à un ballon de verre A qui formera la cuve à eau; l'orifice B qui sert à l'introduction du liquide est ensuite fermé avec un bon bouchon à l'émeri;

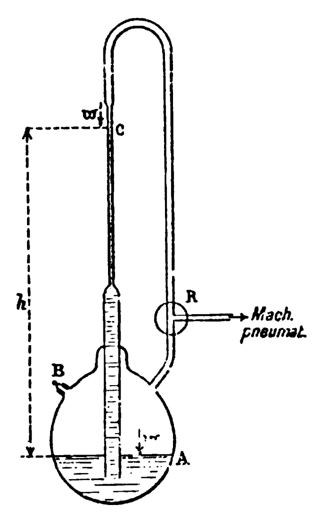


Fig. 8.

le robinet à trois voies R permet les différentes manœuvres du remplissage, puis on le tourne dans la position indiquée sur la figure, de manière à faire le vide simultanément au-dessus de A et de C.

Résultats. — En faisant le vide d'air presque absolu, la colonne liquide, qui avait une longueur de 43 centimètres, ne s'est point rompue : elle a conservé exactement la même hauteur et le même aspect, quel que soit le degré de vide : *la cohésion de l'eau est donc supérieure à 23 centimètres d'eau* (1).

Cette méthode nous eût difficilement permis d'aller beaucoup plus loin, car il eût fallu employer des tubes beaucoup plus fins et la colonne liquide devient alors peu visible.

(1) L'expérience était faite à 16° : la pression résiduelle était donc uniquement constituée par la pression maximum de la vapeur d'eau qui, à 16°, équivaut à 20 centimètres d'eau environ.

2° *Méthode des baromètres tronqués.*

Un tube de verre à deux branches très inégales, comme celui représenté sur la *fig.* 9, est soigneusement nettoyé, puis rempli d'eau parfaitement purgée d'air; soit ϖ la valeur en colonne d'eau de

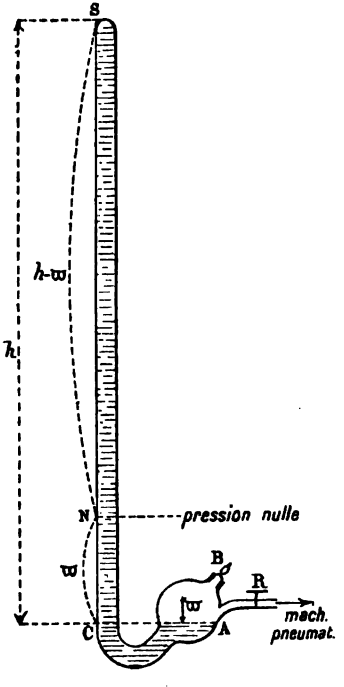


Fig. 9.

la pression qui s'exerce sur le liquide de la petite branche A, pression que l'on peut faire varier à volonté en reliant la tubulure R à une machine pneumatique.

Si le remplissage a été bien conduit, l'*expérience montre que l'on peut diminuer progressivement la pression ϖ jusqu'à une valeur bien inférieure à la différence h des niveaux dans les deux branches*, c'est-à-dire abaisser le plan de pression nulle bien au-dessous de S, *sans que l'eau quitte le sommet du tube.*

Dans ces conditions, la partie inférieure de la colonne liquide, de C en N, sur une longueur ϖ, est soutenue par la pression résiduelle ϖ

qui s'exerce en A ; mais toute la partie supérieure SN *constitue une sorte de corde d'eau de longueur* ($h - \varpi$) *suspendue au sommet du tube* [1] *et qui ne se rompt pas, malgré son état de tension*, grâce à la cohésion du liquide.

Pour mesurer cette dernière, il suffirait de suspendre ainsi une colonne de plus en plus longue, jusqu'à ce que la rupture se produisît ; mais on conçoit que la moindre bulle de gaz, même invisible, détermine dans la corde un point faible où la colonne se rompt sous un effort bien inférieur à la charge limite ; on ne peut donc obtenir ainsi qu'une limite inférieure de la cohésion du liquide.

Première expérience. — Le tube avait environ $1^m,50$ de longueur et $0^m,005$ de diamètre intérieur. Après l'avoir soigneusement nettoyé aux acides, potasse, alcool et eau, on procède à son remplissage, comme on le fait ordinairement pour les baromètres normaux :

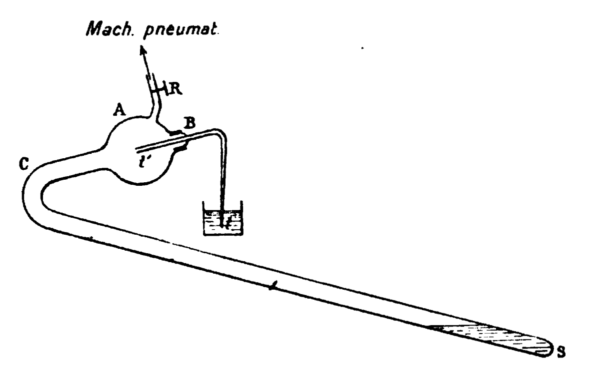


Fig. 10.

Le tube étant placé dans la position indiquée sur la *fig.* 10, on adapte dans la tubulure B un bouchon rodé traversé par un tube tt' très effilé et fermé à la lampe en t ; on relie R à une bonne machine pneumatique actionnée par un moteur électrique et qui fonctionnera sans cesse pendant toute la durée du remplissage. Le vide d'air étant très avancé dans le tube, on fait plonger l'extrémité t dans une capsule remplie d'eau bouillie chaude, puis on casse la pointe t : l'eau monte et vient perler très lentement en t', où elle se vaporise en grande partie, se purge très bien de son air, puis coule en S ; dès

(1) Par suite de l'adhésion bien connue de l'eau pour le verre.

qu'il y a en S un index d'eau suffisant, on chauffe pour provoquer l'ébullition de l'eau qui s'y trouve et on continue cette ébullition en remontant progressivement tout le long du tube, jusqu'à ce que le remplissage soit terminé.

On laisse alors refroidir l'appareil pour que les dernières traces d'air se dissolvent dans l'eau ; on rend la pression atmosphérique en A, puis on retourne le tube dans la position de la *fig.* 9 ; on remplace le bouchon à tube tt' par le bouchon rodé plein, et l'appareil est prêt à fonctionner.

La différence des niveaux h était de 1m,35 ; nous avons pu faire le vide d'air presque absolu au-dessus de A, sans produire la rupture ; comme la pression résiduelle ϖ se compose alors uniquement de la pression maximum de la vapeur (équivalente à 20 centimètres d'eau environ), il en résulte que la *cohésion de l'eau est supérieure à 1m,15 d'eau.*

Lorsque nous avons exécuté cette expérience pour la première fois, nous craignions que cet état de tension d'une colonne liquide, si nous arrivions à le réaliser, fût très instable ; aussi avions-nous pris toutes sortes de précautions pour éviter de transmettre au tube toute trépidation, choc ou vibration. Le résultat cherché étant obtenu, nous avons pu parler, frapper sur la table, et même frotter le tube avec les doigts mouillés sans rompre la colonne d'eau ; il fallut, pour provoquer cette rupture, faire vibrer le tube très fortement en le frottant longitudinalement avec les doigts enduits de colophane (1) : *nous étions donc encore très loin de la limite de cohésion.*

Remarque. — *Pour remettre l'appareil en état*, il suffit de rendre la pression atmosphérique en A ; l'eau remonte alors en S, mais on y voit une toute petite bulle d'air ; il suffit de chasser cette bulle en inclinant le tube, puis de le laisser reposer quelques heures, pour qu'il soit de nouveau prêt à servir.

On peut répéter l'expérience quinze, vingt fois... avec le même tube ; si, à la longue, il devient hors d'usage, il suffit de procéder à

(1) Quand cette rupture se produit, la colonne liquide SC retombe brusquement, et l'égalisation des niveaux a lieu en AC; il est à noter que cette rupture se produit en un point quelconque de la colonne, là où il y a un point faible ; mais il reste toujours un petit index d'eau au sommet du tube : c'est donc bien la cohésion de l'eau pour elle-même qui est vaincue et non pas son adhésion pour le verre.



nouveau au remplissage, en remplaçant en B le bouchon plein par le bouchon à tube *tt'*. Ce petit appareil, construit par M. Chabaud, peut donc servir d'*appareil de démonstration* pour les cours.

Deuxième expérience. — L'expérience précédente nous ayant montré que nous étions encore très loin de la limite de cohésion, nous avons fait construire un tube de verre de $5^{m},30$ de hauteur et 1 centimètre de diamètre intérieur. Après l'avoir rempli avec les mêmes précautions que le premier, nous l'avons fixé sur un long madrier, puis dressé verticalement dans une salle attenant au grand amphithéâtre de physique de la Sorbonne : nous avons encore pu faire le vide d'air au-dessus du liquide de la petite branche sans rompre la colonne.

Bien que la corde d'eau ainsi suspendue ait ici une hauteur supérieure à 5 mètres, nous sommes encore fort loin de la limite, car la rupture de cette colonne d'eau ne s'est produite qu'à la suite d'une friction énergique avec les doigts enduits de colophane (1).

Troisième expérience. — EXPÉRIENCE MIXTE EAU-MERCURE. — Il eût été difficile d'aller beaucoup plus loin dans cette voie, par suite de difficultés d'ordre pratique faciles à concevoir. Mais, lorsqu'on veut mesurer l'effort qu'une corde peut subir, on ne s'avise pas d'augmenter sa longueur jusqu'à ce qu'elle se rompe d'elle-même : on y suspend des poids progressivement croissants.

Il s'agissait donc de *réaliser une colonne d'eau fixée par sa partie supérieure et d'exercer sur elle une traction croissante, jusqu'à provoquer sa rupture ;* nous y sommes parvenus de la manière suivante :

Un tube de verre de forme analogue à ceux qui nous ont déjà servi est rempli, avec les mêmes soins usités pour les expériences précédentes, d'une longue colonne de mercure surmontée de quelques centimètres d'eau (*fig.* 11).

Quand on diminue progressivement la pression ϖ, le plan de

(1) Pour répondre à une objection qui peut se présenter à l'esprit, je signale que les actions des parois latérales du tube ne peuvent nullement aider à soutenir la colonne liquide, car ces actions sont, par symétrie, normales aux parois, c'est-à-dire horizontales : elles n'ont donc pas de composantes verticales.

Du reste, l'objection tombe d'elle-même, si l'on songe au baromètre : que deviendrait la théorie de cet instrument si les parois latérales pouvaient aider à soutenir la colonne liquide : il n'indiquerait plus la pression atmosphérique ?

Enfin, signalons que nos expériences ont été exécutées avec des tubes de diamètres très différents, et qu'elles réussissent aussi bien avec des tubes larges de 15 millimètres de diamètre qu'avec des tubes beaucoup plus fins.

pression nulle s'abaisse progressivement bien au-dessous de L, et une *colonne de mercure de plus en plus longue tire sur l'eau.*

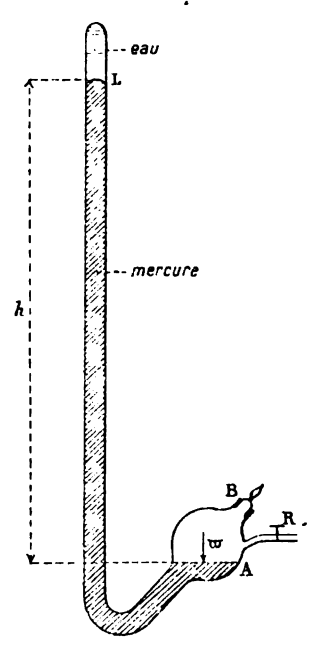


Fig. 11.

Le tube employé avait 1 mètre de longueur et 1 centimètre de diamètre intérieur environ; on a pu le dresser verticalement et ensuite faire le vide absolu au-dessus du liquide, en A, sans produire la rupture : la *colonne de mercure suspendue à l'index d'eau avait alors* 90 *centimètres de hauteur ;* bien plus, il a fallu, pour provoquer cette rupture, faire vibrer énergiquement le tube comme dans les expériences précédentes (1).

(1) Pour réussir cette expérience, il ne suffit pas d'effectuer le remplissage, comme il a été dit plus haut; celui-ci terminé, on dispose le tube dans la position de la *fig.* 10, on fait le vide aussi complet que possible par R, puis on fait vibrer le tube très énergiquement dans toute sa longueur, et particulièrement au niveau du ménisque eau-mercure.

De nombreuses bulles prennent alors naissance et viennent se dégager dans l'ampoule. Il est facile de voir que le mécanisme de cette ébullition ne diffère pas essentiellement de celui du phénomène désigné ordinairement sous ce nom.

Au bout d'un certain temps, les bulles apparaissent plus difficilement : on rétablit alors la pression atmosphérique, puis on redresse le tube qui est prêt à servir.

La cohésion de l'eau, son adhésion pour le mercure et la cohésion de celui-ci [1], *qui toutes trois interviennent dans cette expérience, sont donc de beaucoup supérieures à* 90 *centimètres de mercure, c'est-à-dire à plus de* 12 *mètres d'eau* (1,2 mégadyne par centimètre carré).

CONCLUSION.

On voit par ce qui précède que *la cohésion de l'eau, loin d'être mesurée approximativement, comme on l'a souvent répété, par une colonne d'eau d'environ* 5 *millimètres de hauteur, a une valeur plusieurs milliers de fois plus grande.*

Par un raisonnement approximatif, nous avons pu nous rendre compte que cette cohésion doit être de l'ordre de $\frac{F}{\varepsilon}$, F désignant la constante superficielle du liquide et ε le rayon de la sphère d'action moléculaire. Elle serait donc représentée par plusieurs centaines de mètres d'eau. Rappelons à ce propos les expériences déjà anciennes de M. Berthelot sur la dilatation forcée des liquides, expériences dans lesquelles la tension de rupture a été évaluée à une vingtaine d'atmosphères.

Remarque. — Cette grande valeur de la cohésion des liquides a comme conséquence immédiate de faire rejeter le raisonnement classique par lequel on justifie la loi de Tate relative à l'écoulement des gouttes par un orifice capillaire ; nous nous proposons de revenir ultérieurement sur cette question.

---

[1] Quelques expériences ont été effectuées avec le *mercure seul* par la méthode des baromètres tronqués ; cette fois, la rupture a lieu entre le verre et le mercure ; c'est donc l'*adhésion verre-mercure* qui est vaincue et non la cohésion du mercure. — Nous avons pu soutenir ainsi par son sommet une colonne de 30 centimètres de mercure ; mais les difficultés du remplissage font supposer que nous étions loin de la limite.

Sur l'excitateur de Hertz ;

Par M. R. Swyngedauw [1].

Première partie.

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES ET DISCUSSION DES EXPÉRIENCES ANTÉRIEURES.

La belle théorie de la résonance multiple de MM. H. Poincaré et Bjerknes a provoqué un très grand nombre de travaux expérimentaux sur l'excitateur de Hertz.

La plupart des observateurs ont conclu que le mouvement de l'électricité était pendulaire amorti ; je ne crois pas que ces conclusions soient justifiées. J'en donnerai d'abord les raisons théoriques, et je discuterai les résultats contradictoires ; enfin, j'exposerai dans une deuxième partie mes recherches expérimentales.

Étude théorique préliminaire. — Une conséquence simple de l'hypothèse du mouvement pendulaire de l'électricité dans l'excitateur est que les zéros du courant se suivent tous à intervalles égaux, en d'autres termes que toutes les oscillations simples du courant ont la même durée.

Cette hypothèse ne peut pas être rigoureusement vraie. En effet, dans un mémoire antérieur [2], j'ai démontré que l'équation des décharges de Thomson ne pouvait s'appliquer aux premiers instants de la décharge et, en particulier, que la durée de la première oscillation simple du courant de décharge était plus grande que celle des suivantes pour des décharges de condensateurs quelconques, même lorsque la capacité est très grande. La démonstration de cette proposition découle de l'application des lois de l'induction au circuit conducteur métallique du condensateur au début de la décharge.

Malgré cela, l'expérience n'avait pas jusqu'en ces derniers temps confirmé cette proposition ; mais elle vient d'être nettement démontrée par M. Tissot [3] par la méthode du miroir tournant. Ce physicien a trouvé, notamment avec des décharges de condensateur de 480 centi-

---

(1) Séance du 5 avril 1902.

(2) *C. R.*, 16 juillet 1894 ; et *Archives des Sc. Phys. de Genève*, mai 1897.

(3) Tissot, *C. R.*, t. CXXXIII, p. 929 ; 1901.

mètres de capacité, que la première oscillation est franchement plus longue que la suivante; si la première est représentée par 59, la deuxième l'est par 53; donc, pour des décharges dont la capacité est de quelques centaines de centimètres, la première oscillation est nettement plus longue que les suivantes; mais qu'arrivera-t-il si on réduit la capacité à quelques centimètres, 7 ou 8, comme dans l'excitateur de Hertz? Pour s'en rendre compte, examinons ce qui se passe dans l'intervalle explosif.

Avant la décharge, la résistance de cet intervalle est infinie; une étincelle éclate, l'électricité traverse le diélectrique, l'étincelle devient conductrice. Pour une décharge de condensateur ordinaire, cette résistance devient même très faible par rapport à quelques ohms, si l'on se rapporte aux expériences bien connues de Riess sur la décharge. Or l'espace explosif est un diélectrique, la résistance du canal lumineux qui constitue l'étincelle a une valeur bien déterminée pour une température, une section et une longueur données, et diminue quand la température s'élève.

Considérons la décharge d'un condensateur dans un circuit métallique présentant un intervalle explosif où éclate une étincelle. Pour que les oscillations soient possibles dans ce circuit, la résistance totale (étincelle comprise) doit être inférieure à la résistance critique, et, puisque la résistance de l'étincelle est infinie au début, la décharge n'est pas oscillatoire; il faut que la température de l'étincelle devienne supérieure à une certaine valeur déterminée θ pour que les oscillations soient possibles.

Il faudra donc que la décharge du condensateur commence par échauffer l'étincelle à cette température et dépense à cet effet une énergie w.

Cette énergie w peut être supérieure, égale ou inférieure à l'énergie potentielle initiale W du condensateur.

Si $w < W$, les oscillations sont possibles; mais, si $w > W$, les oscillations sont impossibles.

W étant donné par la relation $W = \frac{1}{2} CV^2$, C étant la capacité du condensateur, V le potentiel auquel on l'a chargé, si on laisse V constant et que l'on diminue d'une façon continue la capacité du condensateur, W diminue d'une façon continue, et il arrive un moment où $W < w$, de sorte que la décharge d'un condensateur oscillatoire pour les grandes capacités deviendra continue pour

des capacités suffisamment petites ; je remarque en passant que cette conclusion est contraire à celle que l'on déduit de l'équation de Thomson, parce que l'on suppose les résistances constantes.

Dans les décharges de condensateur de faible capacité, le rôle de cette étincelle devient donc prépondérant ; elle empêche complètement les oscillations et modifie, en général, *la loi de décharge qu'indique l'équation de Thomson d'autant plus que la capacité du condensateur est plus faible.*

Ces considérations sont-elles applicables à l'excitateur de Hertz? La capacité de cet excitateur est-elle suffisamment petite pour que les conclusions précédentes soient valables ?

Le calcul très simple suivant va nous en donner une idée.

Calculons d'abord l'énergie absorbée pour élever à 2000° une étincelle de 1 centimètre de long, de section circulaire de 0^{mm},1 de rayon dans l'atmosphère.

Soient q la chaleur absorbée, l la longueur et r le rayon de l'étincelle, d la densité absolue et c la chaleur spécifique de l'air, t la température ; on a $q = \pi r^2 ldct$.

En prenant pour capacité calorifique de l'air 0,24, si on fait abstraction du rayonnement, l'énergie W dépensée pour chauffer l'étincelle serait $8{,}15 \times 10^3$ ergs. Si les pôles entre lesquels éclate l'étincelle ont de 2 à 3 centimètres de diamètre pour 1 centimètre de distance, le potentiel explosif est 100 C. G. S. environ. Si la capacité est de 7^{cm},5 :

$$W = 37{,}5 \times 10^3 \text{ ergs.}$$

On voit que, même en négligeant le rayonnement calorifique très intense, l'énergie w nécessaire pour échauffer l'étincelle à la température de 2000°, qui est certainement atteinte dans les étincelles même de très faible énergie w, est environ le quart de l'énergie totale W de l'excitateur de Hertz.

Pour des condensateurs de quelques unités C. G. S., la décharge sera donc considérablement influencée par la présence de l'étincelle.

Si, au contraire, la capacité du condensateur est de l'ordre de plusieurs centaines de centimètres, la modification produite par l'étincelle sera inappréciable.

J'ai montré antérieurement (1) que ces considérations permettent

(1) *C. R.*, 15 mars 1897 ; — *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, mai 1897.

d'expliquer un grand nombre de faits accessoires sur l'activité des étincelles, je me bornerai à remarquer ici que toutes les circonstances qui augmentent w, sans augmenter dans les mêmes proportions l'énergie W, diminueront l'activité de l'excitateur; toutes celles qui augmenteront w, en augmentant dans des proportions plus fortes W, augmenteront l'activité de l'excitateur.

Quelle influence l'étincelle aura-t-elle sur la période d'oscillation? La décharge prendra le caractère d'une décharge oscillatoire dès que la résistance critique sera atteinte. Si la formule de Thomson est applicable, cette résistance est donnée par l'équation :

$$\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2} = 0.$$

M. Poincaré a calculé cette résistance pour l'excitateur de Hertz employé et a trouvé 969 ohms.

D'autre part, si la période d'oscillation était donnée par l'équation

$$\frac{\pi}{T} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}},$$

où T, L, C, R représentent respectivement la période, la self-induction, la capacité et la résistance du circuit, on voit que la période T diminuera et croîtra avec R.

Or, à mesure que l'étincelle s'échauffe, la résistance diminue; on voit donc que la durée d'oscillation de l'excitateur va en décroissant depuis le début de la décharge; l'oscillation la plus courte a une durée au moins égale à

$$Tn = \pi\sqrt{LC};$$

c'est la proposition que j'ai énoncée antérieurement [1].

Mais il est bien évident que, d'une part, l'intensité du courant de décharge diminuant de plus en plus au fur et à mesure que la décharge se poursuit, et, d'autre part, le rayonnement de l'étincelle étant très intense, il arrive un moment où l'échauffement du courant ne compense plus le rayonnement; la résistance, après avoir atteint un minimum, décroît même avant la fin de la décharge, de sorte que, si on se rapporte à la proposition précédente, on peut dire qu'un excitateur hertzien émet une série de vibrations dont la durée va d'abord en décroissant jusqu'à un minimum, puis en croissant progressive-

[1] *C. R.*, 15 mars 1897.

ment jusqu'à la fin de la décharge. Cet énoncé précise une idée de MM. Sarazin et Delarive, d'après laquelle l'excitateur émettrait une série de vibrations de périodes différentes [1].

Si l'énergie nécessaire pour échauffer l'étincelle n'est qu'une fraction négligeable de l'énergie totale, la variation de période sera insensible d'une oscillation à une autre. La variation de la période ne sera notable que pour les décharges de capacité de l'ordre de quelques centimètres.

Ces considérations supposent les formules de Thomson applicables aux décharges à résistance variable. Nous allons montrer que les conclusions que nous avons tirées restent vraies dans ce cas pour les décharges par étincelle.

M. Pétrowich a étudié mathématiquement l'équation des décharges dans un circuit où la résistance, la self-induction et la capacité sont variables d'une façon quelconque, et a montré dans quel cas la décharge devient oscillatoire et les oscillations plus courtes ou plus longues [2].

Nous appliquerons les règles qu'il a posées au cas actuel.

1° Les oscillations sont possibles pour une valeur de la résistance telle que la fonction

$$\varpi(t) = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{2L}\frac{dR}{dt}$$

soit positive.

Nous remarquerons qu'à cause du terme en $\frac{dR}{dt}$ la résistance critique sera plus grande que celle qui est donnée par la formule de Thomson ; les oscillations commenceront dans l'étincelle plus tôt que ne le fait prévoir cette formule.

Si nous supposons, pour C, la valeur qu'elle a dans l'excitateur de Hertz, c'est-à-dire 7 unités électrostatiques C. G. S. ou encore $\frac{7}{9 \times 10^{11}}$ farad, $\frac{1}{C} = \frac{9 \times 10^{11}}{7}$, et, si la résistance varie seulement de 200 ohms en un milliardième de seconde, on voit que le terme $\frac{1}{2L}\frac{dR}{dt}$ égalerait le terme $\frac{1}{LC}$; or, au début de la décharge, la résistance

(1) *Arch. des Sc. phys. et naturelles de Genève*, t. XXIII, p. 113.
(2) *C. R.*, 1er mars 1897.

passe de l'infini à une valeur relativement faible, quelques ohms, dans un temps de l'ordre du milliardième de seconde ; cette hypothèse n'a donc rien d'exagéré et reste probablement au-dessous de la vérité.

2° « Si M et N désignent respectivement les valeurs maxima et minima de la fonction $\varpi(t)$ dans l'intervalle θ, la charge du condensateur s'annulera un nombre de fois au moins égal à $\frac{\theta\sqrt{N}}{2\pi}$ et, au plus, égal à $\frac{\theta\sqrt{M}}{2\pi}+1$. »

Si donc les oscillations successives de la décharge échauffent de plus en plus l'intervalle explosif, de sorte que les valeurs maxima et minima dans une oscillation soient plus grandes que dans celle qui la précède, à cause des grandes variations de la fonction $\varpi(t)$, on peut en inférer que le nombre des oscillations, dans deux intervalles de temps successivement égaux, ira en croissant; la durée d'une oscillation diminuera si l'étincelle s'échauffe ; elle augmente si l'étincelle se refroidit.

EXAMEN DES RÉSULTATS CONTRADICTOIRES.

Nos conclusions sont contredites par la plupart des expérimentateurs qui ont étudié l'excitateur hertzien.

La très grande majorité de ces résultats a été obtenue par une méthode d'intégration dont le principe est le suivant : on soumet un appareil à l'action d'un train d'ondes tout entier émané de l'excitateur. Le résultat observé est une somme mesurable d'effets instantanés non mesurables.

Cette méthode a été suivie par MM. Bjerknes (1), Rubens (2), Jones (3), Gutton (4), etc. D'après tous ces physiciens, l'hypothèse du mouvement pendulaire dans l'excitateur représente suffisamment l'expérience, au moins dans la portion de phénomène très restreinte correspondant à deux oscillations simples, seule accessible aux mesures.

Si on admet que ces résultats doivent être acceptés sans réserves,

(1) Bjerknes, *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 513.
(2) Rubens, *Wied. Ann.*, t. XLII, p. 154.
(3) Jones, *Electrician*, t. XXVII, p. 238; et *Lumière électrique*, t. XLII, p. 190.
(4) Gutton, *Ann. Ch. et Ph.*, 7e série, t. XVIII, p. 5 ; 1899.

je ferai remarquer tout d'abord que les expérimentateurs se sont mis dans un cas très particulier d'oscillations très amorties se réduisant à deux ou trois oscillations ; les hypothèses faites dans les calculs le montrent suffisamment. Or la proposition générale présente, comme cas particulier, celui des deux premières oscillations égales. En effet, si l'onde est très amortie, on conçoit très bien que la température moyenne de l'étincelle puisse être inférieure, dans la seconde oscillation, à celle de la première ; les oscillations pourront être sensiblement égales et, comme ces deux premières oscillations sont les plus grandes en amplitude, il en résulte qu'elles forment la très grande partie de la somme que l'on veut mesurer.

D'ailleurs, les expériences ne sont représentées, très souvent, qu'avec une précision très faible par l'hypothèse pendulaire ; il est superflu, d'ailleurs, d'ajouter que, pour aucun des physiciens, ces expériences aient le caractère d'exactitude que l'on rencontre dans d'autres parties de la physique ; mais, pour la plupart, ces expériences donnent uniquement *la valeur moyenne de la durée des oscillations émises par l'excitateur.*

Même en admettant que la méthode donne des résultats précis, la valeur des conclusions des expériences d'intégration laisse beaucoup à désirer. Il ne suffit pas, en effet, que l'intégrale d'une fonction soit conforme au résultat observé pour que la fonction supposée soit bien réellement celle qui représente le phénomène à un instant donné, car une infinité de fonctions satisfont à cette condition.

Les conclusions de la méthode d'intégration demandent à être appuyées par des expériences capables de donner la valeur *à un instant donné* d'une grandeur variable du phénomène.

M. Pérot [1] a comblé cette lacune en déterminant la valeur maximum de la différence de potentiel entre deux points d'un fil parcouru par une onde et comprenant entre eux une longueur de fil plus ou moins grande.

La conclusion a encore été favorable à l'hypothèse, la distance des maxima et des minima est bien la même, et les maxima et les minima ont bien été trouvés avec les valeurs calculées d'après la théorie.

D'abord ces expériences ont été faites avec des oscillations très amorties, et je pourrais répéter ce que j'ai dit précédemment à ce propos ; en second lieu, on n'a décelé de cette manière que les deux

(1) *C. R.*, t. CXIV, p. 165.

premiers maxima et le minimum intermédiaire ; la conclusion manque donc de points d'appui.

D'ailleurs, la méthode expérimentale suivie est sujette à de graves critiques. La décharge éclate entre une pointe et un plan ; l'excitateur de Blondlot étant en activité, on rapproche la pointe du plan jusqu'à produire un flux continu d'étincelles.

Les distances *explosives statiques* seraient, d'après Warren de La Rue, proportionnelles aux carrés des potentiels explosifs ; mais, dans les expériences de M. Pérot, les étincelles sont essentiellement *dynamiques*.

Or, j'ai démontré [1] depuis ces recherches que, pour que le potentiel explosif statique égale le potentiel explosif dynamique, il faut prendre des précautions sur lesquelles j'insisterai plus loin et qui n'étaient jamais prises avant la publication de mon travail ; en opérant par la méthode suivie jusqu'alors pour la mesure des distances critiques, on s'expose à des erreurs considérables qui peuvent atteindre l'ordre de grandeur de la quantité à mesurer elle-même. Les résultats de M. Pérot sont donc *incertains*.

M. Décombe [2] a exécuté depuis des expériences dans lesquelles il mesurait la durée des oscillations dans l'étincelle, directement, à l'aide du miroir tournant.

Il s'est particulièrement attaché à rendre la période la plus courte possible, et il a pu réaliser ainsi les fréquences de 1 à 5 millions de secondes, bien voisines des fréquences des vibrations hertziennes. Il a montré que les oscillations d'une même décharge étaient sensiblement de même durée, ce qui justifiait l'hypothèse du mouvement pendulaire amorti.

Malheureusement, pour rendre l'étincelle photographiable, il fallait augmenter son intensité lumineuse et prendre un condensateur de capacité notablement plus grande que celle de l'excitateur de Hertz.

En effet, le condensateur de M. Décombe [3] se composait de 12 plaques de $28^{cm},9$ de long sur $15^{cm},7$ de large, plongées dans de l'huile. En admettant pour constante diélectrique 2, on trouve que

---

(1) Thèse, Paris, 1897 ; — *l'Éclairage électrique*, mai-juin 1897 ; — *J. de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 306 ; 1897.

(2) Décombe, *Ann. de Chimie et Physique*, t. XIII, 7e série, p. 156 ; 1898.

(3) Décombe, *loc. cit.*, p. 187.

son condensateur a une capacité de 399 centimètres environ, par conséquent 50 fois plus grande que celle du vibrateur de Hertz. Il en résulte donc que, pour une même distance explosive, il y a une énergie 50 fois plus grande. Quoique dans les expériences de M. Décombe l'étincelle éclate dans l'huile, le raisonnement précédent s'applique encore ; car nous pouvons comparer le condensateur de M. Décombe à l'excitateur de Sarazin et Delarive, qui est celui de Hertz, avec étincelle dans l'huile.

Si l'énergie nécessaire pour échauffer l'étincelle est une fraction notable de l'énergie totale de l'excitateur de Hertz, cette même énergie ne sera qu'une fraction inappréciable de l'énergie totale dans les expériences de M. Décombe, de sorte qu'il ne faut pas s'étonner que ce physicien ait trouvé pour les oscillations successives de l'étincelle des durées sensiblement égales.

Les conclusions de M. Décombe, valides pour des décharges de grande capacité, *ne peuvent être étendues aux décharges hertziennes* et *ne contredisent donc pas mes propres conclusions, mais les vérifient.*

Récemment M. Tissot [1], en perfectionnant la méthode du miroir tournant et mesurant micrométriquement la durée des oscillations successives de l'excitateur, a nettement vérifié une partie des conséquences théoriques de ce mémoire.

Dans les tableaux suivants, on a consigné les intervalles des oscillations pour une distance explosive de 1 centimètre. Les nombres représentent en centièmes de millimètre, avec une capacité de 480 centimètres, les intervalles des oscillations sur la plaque photographique :

Nos d'ordre des intervalles	1	2	3	4	5	6
Longueur des intervalles	59	53,2	51,4	50,7	50,4	49,8

et avec une capacité de 900 centimètres :

Nos d'ordre des intervalles	1	2	3	4	5	6
Longueur des intervalles	65,5	62,5	61,6	60,8	60,5	59,8

Ainsi donc, les durées des oscillations vont en diminuant pour une décharge donnée ; et, lorsque la capacité augmente, la variation de la durée des oscillations est moins grande.

(1) TISSOT, *C. R.*, t. CXXXIII, p. 929 ; 1901.

Le rapport de la première oscillation à la sixième est de $\frac{59}{49,8} = 1,18$ pour la capacité 480 centimètres, elle est de 1,09 pour la capacité 900.

En outre, la période d'oscillation diminue quand la distance explosive augmente. Ainsi, pour les premières oscillations de la décharge, tous les faits sont d'accord avec la théorie.

L'auteur n'a pas réussi à étudier la durée des dernières oscillations, parce que les maxima et les minima ne sont plus nettement séparés.

Enfin, si on examine de plus près les nombres de M. Tissot, on voit que la période d'oscillation n'est pas donnée par la formule de Thomson, où les résistances sont négligeables, $T = \pi\sqrt{LC}$, où L est la self-induction et C la capacité; en effet, lorsque la self est constante, la période T est proportionnelle à $\sqrt{C}$. Si $0,68 . 10^{-6}$ est la période d'oscillation de la décharge de capacité 900 centimètres, $0,56 . 10^{6}$ la période de la décharge de capacité 480, le rapport des périodes est $\frac{0,68}{0,56} = 1,21$; il aurait dû être théoriquement $\sqrt{\frac{900}{480}} = 1,36$.

M. Miesler [1], qui a fait une étude soignée de la période des oscillations d'un condensateur, avait déjà signalé que la formule de Thomson ne s'applique plus lorsque la capacité devient de l'ordre de quelques centaines de centimètres.

Deuxième partie.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE L'EXCITATEUR DE HERTZ.

I. *Principe de la méthode.* — Pour étudier les oscillations notablement plus rapides de l'excitateur de Hertz, le miroir tournant ne suffit plus ; j'ai eu recours à une sorte de méthode stroboscopique ; j'ai déterminé l'allongement de la distance explosive que provoque l'étincelle hertzienne I sur un autre excitateur E chargé à un potentiel toujours le même à des instants variables de la durée de la décharge du vibrateur de Hertz.

Pour appliquer cette méthode, il faut qu'à un instant quelconque de la décharge on puisse charger un excitateur au potentiel donné

(1) *Sitz. Ber. der K. Wiener Akademie*, Abt. IIa, juli 1890, p. 579.

fixe et l'éclairer à ce même instant par la lumière émanée de l'excitateur.

Voici la description du dispositif d'expérience (*fig.* 1) :

Un excitateur de Hertz à plaques carrées P, P', de 40 centimètres de côté, est chargé par une machine de Holtz ; les centres de ces plaques sont à $1^m,10$ l'un de l'autre, et l'intervalle explosif I est formé par des boules de 3 centimètres de diamètre à une distance explosive de 1 centimètre environ.

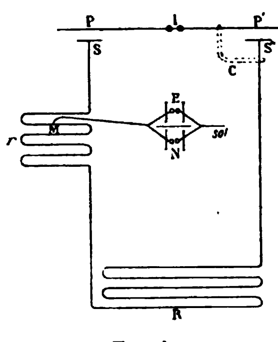


Fig. 1.

En face des plaques P, P' du primaire, et à une distance de 2 à 3 centimètres, on place les plaques S, S' de 12 centimètres de diamètre du secondaire.

S est réunie à S' par un fil de cuivre de 160 mètres de long environ et de $0^{mm},8$ de diamètre.

En partant de S, le fil est sensiblement rectiligne sur une longueur de 1 mètre environ, et forme ensuite un réseau *r* de 39 brins de fil en série parallèles et verticaux de 92 centimètres de long, et distants l'un de l'autre de 2 centimètres, supportés par des bâtons de verre implantés sur deux côtés opposés d'un cadre rectangulaire en bois ; l'extrémité de ce réseau *r* est unie à une extrémité d'un réseau R de 18 fils de 7 mètres de long, tendus entre des tiges de verre supportées également par du bois ; l'autre extrémité de R est unie à S'.

On voit par cette disposition que, si le primaire se décharge, la charge mise en liberté sur la plaque secondaire S se propage d'abord le long du réseau *r* et parcourt ensuite tout le réseau R avant d'arriver en S'. Au contraire, la charge mise en liberté en S' est obligée de parcourir le réseau R avant d'arriver sur le réseau *r*.

Pendant la durée du parcours du réseau r par la charge mise en liberté en S, on n'a pas à craindre les interférences de la charge de S', à cause de la longueur du réseau R, au moins trois fois plus grande que celle de r.

Nous allons nous servir de l'onde électrique mobile le long du fil SS' pour charger un excitateur E à boules à un potentiel donné à divers instants de la durée.

Pour cela, l'une des boules E_1 de E est réunie par un fil de cuivre à une canalisation de gaz et, en outre, à l'armature interne d'une batterie de plusieurs jarres, de capacité de quelques centièmes de microfarad, pour mieux assurer la constance du potentiel de ce pôle.

L'autre boule, E_2, est réunie par un fil de cuivre de 50 centimètres environ à l'un des points M du réseau r au moyen d'une pince à vis.

Au passage de l'onde le long du réseau, la boule E_2 se charge ; une différence de potentiel se produit entre E_2 et E_1.

Nous comptons les temps à partir de l'instant où la décharge commence dans le vibrateur ; soit θ le temps nécessaire pour amener le pôle E au potentiel φ, lorsqu'il est uni au point S, origine du fil ; si l'amortissement de l'onde est négligeable, le même pôle E en communication avec un point M du réseau R, à une distance l du premier, sera chargé au même potentiel φ, au temps $\theta + \frac{l}{V}$, V étant la vitesse de propagation des ondes le long du fil.

D'autre part, l'excitateur E étant placé en face de l'intervalle explosif I du vibrateur à une distance $EI = d$, si V' représente la vitesse de propagation de la lumière, les radiations qui tombent sur l'excitateur sont émanées de l'étincelle un temps $\frac{d}{V'}$ auparavant.

On peut donc dire que, quand l'excitateur E se charge au potentiel φ à l'instant $t = \theta + \frac{l}{V}$, la lumière qui tombe sur lui à cet instant sera partie de l'excitateur au temps $t' = \theta + \frac{l}{V} - \frac{d}{V}$; si on laisse φ, θ et d constants, on voit qu'en faisant varier la longueur l du fil on éclairera l'excitateur E avec de la lumière partie de l'étincelle à des instants variables et déterminés de la durée.

Si l'action de la lumière ultra-violette se fait sentir en un temps très court, l'allongement de la distance explosive de l'excitateur E, pour un potentiel explosif déterminé, sera d'autant plus grand que

l'intensité de la lumière qui frappe l'excitateur E sera plus intense à l'instant où il est chargé au potentiel φ. Si la décharge de l'excitateur est oscillante, l'allongement de la distance explosive E variera donc d'une manière continue, présentant des maxima et des minima correspondant aux maxima et aux minima de l'intensité lumineuse de l'étincelle, *les minima correspondant aux zéros de l'intensité du courant de décharge* (1).

Principe de la méthode de détermination des distances explosives. — Le problème consiste donc maintenant à déterminer la distance explosive de l'excitateur E pour un potentiel toujours le même. Pour cela, on se sert de la méthode des deux excitateurs dérivés que j'ai décrite antérieurement (2) et que je rappellerai brièvement.

Outre l'excitateur E, on prend un second excitateur N placé en dérivation entre les mêmes points que E ; les pôles E_1 et N_1 de ces excitateurs sont réunis par des fils d'égale longueur à un fil commun qui communique avec le sol, comme il a été dit ; les pôles E_2 et N_2 sont réunis à des fils de même longueur et même diamètre, à l'extrémité du fil qui va au point M du réseau ; de cette manière, les excitateurs N et E sont à chaque instant au même potentiel, pendant la charge par l'onde qui passe dans le réseau, quoique le potentiel varie très rapidement d'un instant à l'autre.

Si on maintient N dans des conditions constantes et à l'abri des radiations ultra-violettes pour une distance explosive donnée, l'étincelle éclatera toujours en N pour le même potentiel inconnu, mais constant, à moins qu'elle n'éclate en E. Si donc on détermine deux distances explosives de E très voisines l'une de l'autre, d_1 et $d_2 = d_1 + \varepsilon$, telles que, pour toute étincelle qui éclate au vibrateur, on observe que, pour d_1, l'étincelle éclate en E, et, pour d_2, elle éclate en N, il est évident que la distance explosive de E, pour le potentiel explosif N, sera comprise entre d_1 et d_2 ; elle sera d_1 par défaut, d_2 par excès. En résumé, si l'expérience, telle que je viens de la décrire, est susceptible de précision, on pourra déterminer la distance explosive de E éclairé par les radiations ultra-violettes émanées de I à un instant quelconque de la décharge, et, pour un potentiel constant, le potentiel explosif de N.

II. *Précautions expérimentales.* — Si on se bornait, sans les pré-

(1) Nous examinerons plus loin cette hypothèse.
(2) Thèse, p. 7 : — *Eclairage électrique*, 8 mai 1897, p. 295 ; ou *J. de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 299 ; 1897.

cautions spéciales que je décrirai tout à l'heure, à faire éclater des étincelles à l'excitateur principal I et à chercher à déterminer les deux distances d_1 et d_2, comme il a été dit, on trouverait les résultats les plus incohérents et les plus décourageants. J'ai démontré en effet qu'on peut faire éclater des étincelles dynamiques à un excitateur pour une même distance explosive, pour des potentiels variant du simple au double et même au triple, surtout aux faibles distances explosives.

Pour que l'expérience soit réalisable, il faut observer strictement les règles que j'ai énoncées pour la détermination rationnelle d'une distance critique ou d'une distance explosive dynamique (1), à savoir :

1° Entourer avec le plus grand soin par des écrans opaques pour les radiations ultra-violettes les excitateurs chargés dynamiquement ;

2° Faire éclater les étincelles une à une à intervalles de temps égaux, une minute environ l'une de l'autre ;

3° Polir chaque excitateur chargé dynamiquement après chaque étincelle d'une feuille de papier d'émeri très fin (00 par exemple), de façon à enlever les traces d'oxyde, qui ternissent l'excitateur après chaque étincelle. Il suffit de passer pour cela le papier d'émeri fin entre les deux pôles montés solidement sur leurs supports isolants bien fixes eux-mêmes et de frotter légèrement ; si les boules sont en laiton, la couche d'oxyde produite par l'étincelle s'enlève très facilement. Dans les dernières expériences, j'ai même remplacé le papier d'émeri par la peau de chamois. Les distances explosives que nous avons à mesurer étant très faibles, une nouvelle difficulté s'ajoute à toutes les autres : le frottement du papier d'émeri même très fin déforme les pôles, de sorte que, au bout d'un certain nombre d'expériences, les pôles doivent être rejetés ; en recommençant une même série de déterminations, on trouve des nombres discordants ; c'est pour cela que, dans mes dernières expériences, j'avais remplacé le papier d'émeri par la peau de chamois. On éloignait les pôles montés sur tige et vis micrométrique, on les nettoyait en passant la peau sur les deux surfaces, on ramenait ensuite les pôles au contact dont on s'assurait par une sonnette électrique, et on ramenait l'excitateur à la distance explosive voulue ;

4° Mais toutes ces précautions sont encore insuffisantes. Pour que

(1) Thèse, p. 29 ; — *Eclairage électrique*, 22 mai 1897, p. 402 ; — *J. de Phys., loc. cit.*, p. 306.

la distance explosive d'un excitateur E éclairé par la lumière ultra violette soit bien déterminée, il ne suffit pas que le potentiel explosif et les conditions physiques soient les mêmes dans les expériences successives, il faut encore que la vitesse de variation du potentiel soit rigoureusement la même dans chaque expérience[1].

Dans ce but, on réunit lesplaques P′ et S′ et le pôle de la machine de Holtz correspondant par une corde mouillée C; de cette manière, le système total des fils ayant un isolement médiocre par rapport au sol, les plaques P′, S′ et S seront toutes au potentiel du sol pendant la charge du vibrateur, tandis que la plaque isolée P du primaire se chargera à un potentiel toujours le même, le potentiel explosif statique très constant de l'intervalle explosif du vibrateur. De cette façon, on fait disparaître les variations inévitables dans le potentiel absolu de chacune des plaques du primaire, qui (comme on peut le constater lorsque la corde sèche) changeraient les distances explosives et rendraient les déterminations incertaines;

5° La variation de la distance explosive de l'excitateur E éclairé avec la vitesse de variation du potentiel fait que l'on doit choisir pour distance explosive de l'excitateur non éclairé, N, une distance suffisamment petite par rapport à sa distance critique; car, si on omet cette précaution, on n'observe plus ni maxima ni minima.

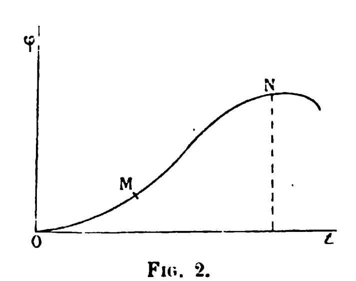


Fig. 2.

Pour se rendre compte de ce fait, considérons la courbe qui représente la variation du potentiel avec le temps de l'excitateur E; elle est de la forme donnée par la *fig.* 2. J'ai démontré antérieurement que, si l'excitateur N est à la distance critique, l'excitateur E ne se décharge pas pour un potentiel constant lorsqu'on l'éclaire avec de

(1) Swyngedauw, *C. R.*, 11 mai 1896; et Congrès de Physique, Paris, 1900, t. III, p. 718.

la lumière ultra-violette d'intensité variable; l'étincelle E éclate pour un potentiel très inférieur au potentiel maximum, si l'excitateur est très fortement éclairé, et au potentiel maximum, s'il l'est faiblement (1).

Nous ne sommes plus dans les conditions indiquées, et la distance explosive de E, éclairé par des intensités très différentes, varie très peu; il en est encore de même pour tout point de la région MN, car, la distance explosive croissant à la fois avec le potentiel et la vitesse de variation du potentiel, on voit que, si l'étincelle éclate pour deux potentiels différents de la région MN, c'est pour le potentiel le plus faible que la vitesse de variation est la plus forte et inversement; les deux effets se contre-balancent. Mais, si on choisit pour N une distance explosive assez petite, on se trouvera dans la région OM de la courbe de charge, où le potentiel et la vitesse de variation du potentiel vont tous les deux en croissant; les deux effets s'ajouteront; il faudra par tâtonnement chercher la distance explosive N, qui donnera pour E les variations les plus accentuées;

6° On a diminué autant que possible la capacité des excitateurs E et N en les réduisant à des boules en laiton de $1^{cm},65$ de diamètre, montées sur deux tiges de fibre, vissées elles-mêmes sur des branches d'excitateur munies de vis micrométriques (2);

7° Il ne faut pas oublier que, pour avoir des résultats comparables, il faut que toutes les parties des excitateurs et du condensateur gardent rigoureusement leurs distances respectives dans les diverses opérations que nécessite une détermination complète des positions des minima et des maxima, qui dure plusieurs heures.

III. *Résultats et conclusions des expériences.* — On observe scrupuleusement les précautions précédentes. Les excitateurs dérivés sont identiques et ont des pôles de $1^{cm},65$ de diamètre; on les réunit au réseau *r* en fixant la petite pince à vis qui termine le fil ME au milieu de chacun des brins de fil de *r*.

E est à une distance de I d'une dizaine de centimètres.

La distance explosive de I = 1 centimètre environ, celle de N était de $0^{m},20$.

Les autres données étaient celles décrites précédemment. Les résultats sont représentés par la courbe ci-contre (*fig.* 3); les abscisses sont proportionnelles aux longueurs de fil, S, M. Les points 1, 2, 3

(1) Thèse, p. 20, et *Éclairage électrique*, *loc. cit.*
(2) Thèse, p. 12, et *Éclairage électrique*, *loc. cit.*

se rapportent au milieu des brins de fil numérotés 1, 2, 3; les ordonnées sont proportionnelles aux distances explosives.

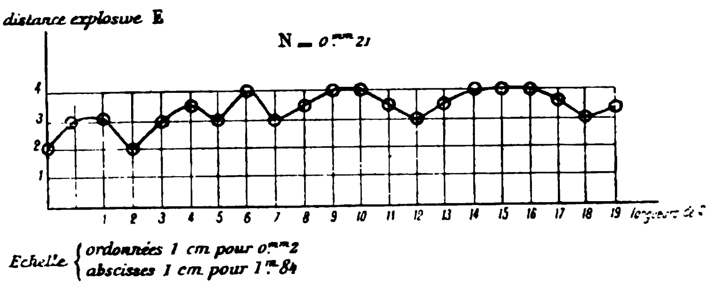


Fig. 3.

Dans d'autres séries d'expériences, N ayant une distance explosive fixe, on donnait à E une distance explosive également fixe et on faisait communiquer son pôle isolé successivement avec divers brins de fil successifs du réseau *r*; de cette manière, on pouvait localiser les maxima et les minima dans une région comprenant plusieurs brins de fil. On rétrécissait cette région pour les minima en diminuant la distance explosive, pour les maxima en l'augmentant; on retrouvait la même disposition des maxima et des minima que dans la première méthode.

Résultats. — 1° *Les minima de la courbe des distances explosives de l'excitateur ne sont pas équidistants.* — Si on excepte l'intervalle qui correspond entre le zéro initial de l'intensité et le premier minimum dans ces expériences, les intervalles des zéros comprennent 3, 2, 5, 6 brins de fil; ils sont donc entre eux comme 3, 2, 5, 6; dans un autre cas, j'ai trouvé, 2, 2, 4, 6, 7, 8; mais, comme les déterminations ne sont faites, en général, qu'à une longueur de brin de fil près, on peut dire que ces deux déterminations sont identiques.

Le premier intervalle ne peut pas être rigoureusement déterminé, nous ne pouvons en déterminer qu'une partie. Dans la *fig.* 3, les points déterminés expérimentalement sont indiqués; la partie qui est à gauche de 1 représente une longueur de $1^m,80$ de deux brins de fil.

Comme, au début de la décharge, l'intensité de la lumière émise est nulle, on peut donc dire que le premier intervalle est notablement plus grand que le second; nous avons fait plusieurs fois cette constatation.

Nous pouvons donc, conformément à notre interprétation, énoncer les résultats de la manière suivante :

La durée des oscillations simples successives de l'excitateur décroît d'abord jusqu'à la deuxième et la troisième, puis va en croissant régulièrement jusqu'à la fin de la décharge; la durée varie du simple au double et même au triple et au quadruple. L'oscillation la plus courte correspond à $0,6 \times 10^8$, qui est sensiblement la période d'oscillation de l'excitateur de Hertz employé, calculée d'après M. Poincaré [1].

2° La distance des minima varie quand on change la capacité de l'excitateur. Si, par exemple, la capacité devient plus petite, on constate que les oscillations sont plus rapides; on constate le même phénomène si on remplace l'excitateur à plaques par un vibrateur formé par deux sphères de 12 centimètres de diamètre, dont l'une communique avec le pôle isolé d'une machine de Holtz, l'autre, identique à la précédente, placée sur le même support de façon à présenter un intervalle explosif de 1 centimètre environ et unie au fil métallique et au réseau r, l'autre extrémité du fil communiquant avec le pôle de la machine de Holtz qui est au sol; les oscillations se produisent dans ces conditions et leur durée minimum est de 2 à 3 fois plus petite que dans le cas précédent.

3° *Influence de la distance explosive de* N. — Le potentiel explosif auquel éclate l'étincelle en E est le potentiel explosif de N. Si on augmente la distance explosive de ce dernier, les potentiels explosifs de N et de E croissent aussi, et le temps θ, qu'il faut pour charger le point initial du réseau S à ce nouveau potentiel, croît également. Or, au moment où l'étincelle éclate à l'excitateur E, celui-ci est éclairé par la lumière partie de l'étincelle I au temps

$$t = \theta + \frac{l}{V} - \frac{d}{V};$$

pour une autre distance explosive de N et une autre longueur l', la lumière qui tombe sur l'excitateur E lorsque l'étincelle y éclate est partie de I au temps

$$t' = \theta' + \frac{l'}{V} - \frac{d}{V'};$$

on laisse d invariable dans les deux expériences.

---

[1] *Les Oscillations électriques*, chez Carré et Naud, Paris, 1894, p. 46.

Si la lumière qui frappe l'excitateur est partie de I au même instant de la décharge, on a :

$$\theta + \frac{l}{V} - \frac{d}{V'} = \theta' + \frac{l'}{V} - \frac{d}{V'},$$

c'est-à-dire

$$\theta' - \theta = \frac{l - l'}{V},$$

de sorte que, si $\theta' > \theta$, on a $l' < l$.

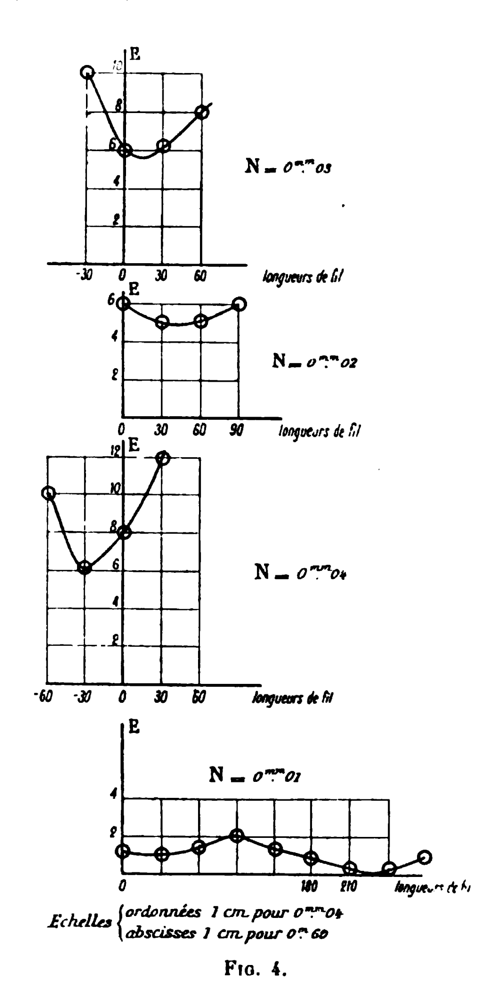


FIG. 4.

Ce qui veut dire que, si la distance explosive de N augmente, les

minima reculent vers l'origine du fil; si N diminue, les minima s'éloignent de l'origine.

Les expériences représentées par la *fig.* 4 rendent bien compte de ce fait.

a) $N = \frac{3}{100}$ millimètre; le minimum se trouve entre l'origine 0 du réseau *r* et 30 centimètres;

b) $N = \frac{2}{100}$ millimètre; le minimum s'est déplacé entre 30 et 60 centimètres;

c) $N = \frac{4}{100}$ millimètre; le minimum se trouve déplacé en sens inverse vers le plateau S; il se trouve au voisinage de 30 centimètres en deçà de l'origine 0 du réseau;

d) $N = \frac{1}{100}$ millimètre; le minimum s'est déplacé sur le réseau en s'éloignant de l'origine et est situé entre $1^m,80$ et $2^m,10$.

Ces quatre séries d'expériences ont été faites dans l'ordre où je les ai transcrites. Je les ai répétées dans d'autres cas que je ne rapporte pas.

Remarquons en passant combien il est utile d'éviter toute lumière ultra-violette dans les expériences de Hertz, puisque la distance explosive de l'excitateur E peut être triple de celle de l'excitateur N identique pour un même potentiel. Ces dernières expériences ont été faites en frottant les pôles avec la peau de chamois (Voir p. 107).

Influence de la distance de l'excitateur E *à l'étincelle du vibrateur.* — Laissons N constant et déplaçons les excitateurs E et N parallèlement à eux-mêmes de façon à faire varier la distance $d = IE$ du vibrateur. Si, dans un premier cas, la lumière qui tombe sur l'excitateur est émanée de l'excitateur au temps

$$t = \theta + \frac{l}{V} - \frac{d}{V'},$$

lorsque la distance d devient d' et lorsque $l = l'$, la lumière qui tombe sur l'excitateur est émanée de I à l'instant

$$t' = \theta + \frac{l'}{V} - \frac{d'}{V'}.$$

Si, dans les deux cas, la lumière part à l'instant du même minimum

de lumière dans l'étincelle, on a :

$$t' = t$$

et

$$\theta + \frac{l}{V} - \frac{d}{V'} = \theta + \frac{l'}{V} - \frac{d'}{V'}$$

$$\frac{l - l'}{V} = \frac{d - d'}{V'}.$$

C'est-à-dire : lorsqu'on éloigne l'excitateur E du vibrateur, les minima s'éloignent sur le réseau ;

Lorsqu'on approche l'excitateur E du vibrateur, les minima se rapprochent de l'origine du fil de propagation I.

L'expérience montre qu'il en est ainsi ; de plus, on constate que $l - l' = d - d'$, c'est-à-dire le déplacement des minima sur le fil égale le déplacement de l'excitateur aux erreurs d'expérience près. J'ai refait un assez grand nombre d'expériences, la plupart concluantes, sur ce point. On démontre ainsi, par une méthode qui n'est pas susceptible de grande précision, que la propagation dans le réseau se fait avec la vitesse de la lumière. J'avais espéré pouvoir comparer la vitesse des rayons X à la vitesse de l'onde électrique dans le fil, mais je n'ai pas réussi à produire les maxima et les minima.

Influence de l'amortissement de l'onde. — L'interprétation que nous avons donnée des expériences suppose que l'amortissement de l'onde est négligeable le long du réseau de fil. Pour contrôler cette hypothèse, nous avons mesuré, pour une distance explosive donnée au vibrateur de Hertz, la distance explosive maximum que nous pouvions obtenir entre les pôles de l'excitateur dérivé, non éclairé par les radiations ultra-violettes de l'excitateur, soit en mettant le pôle isolé de N en communication avec le premier ou le dernier fil du réseau *r*, l'autre pôle étant au sol. Nous avons remarqué que, si la distance explosive est $2^{mm},70$ dans le premier cas, elle est encore $2^{mm},50$ dans le second ; l'onde ne s'est donc que très faiblement amortie dans le passage du réseau. L'interprétation semble donc légitime.

IV. *Objections.* — 1° Nous supposons que la lumière ultra-violette agit instantanément, c'est-à-dire que son action se fait sentir en un temps très court par rapport à une oscillation de l'excitateur ; je crois que ces expériences peuvent servir à démontrer cette instantanéité ainsi comprise, car, si l'action mettait, pour s'exercer, un temps comparable à la période, comment les maxima et les minima seraient-ils nettement accentués ? On aurait pour courbes des dis-

tances explosives une courbe continue sans oscillations nettement accusées.

2° Les minima de la distance explosive correspondent-ils rigoureusement aux zéros de l'intensité?

C'est là une objection qui se pose également dans la méthode du miroir tournant.

Il est bien certain que les minima ne correspondent pas rigoureusement aux zéros de l'intensité, mais cette objection est sans valeur dans le cas actuel, où les durées d'oscillations passent du double au triple.

On peut voir de quelle manière les minima d'intensité de lumière se déplacent par rapport aux zéros de l'intensité du courant de décharge.

Supposons, pour fixer les idées, que l'équation du courant soit celle d'un mouvement pendulaire amorti; nous admettons ce principe que le maximum et le minimum d'intensité de la lumière de l'étincelle correspondent à la température maximum ou minimum. Or il est certain que la température croîtra aussi longtemps que la chaleur dégagée par le courant sera supérieure à la chaleur rayonnée; à cause de la variation relativement lente du courant à son maximum, le maximum lumineux de l'étincelle aura lieu au delà du maximum du courant.

De même, la température de l'étincelle baissera aussi longtemps que la chaleur dégagée par le courant ne sera pas supérieure à la chaleur rayonnée; cette dernière n'étant pas nulle, le minimum de l'intensité lumineuse aura lieu après le zéro du courant; mais, comme le courant varie très rapidement au voisinage de son zéro, le minimum lumineux est très voisin du zéro du courant et sera plus nettement accentué que le maximum.

Conclusion. — En résumé, les diverses conséquences de l'étude théorique de la première partie de ce travail sont vérifiées par l'expérience.

L'excitateur n'émet pas des vibrations de période unique; mais les oscillations successives ont des durées d'abord décroissantes, puis croissantes d'une façon continue jusqu'à la fin de la décharge [1].

---

(1) Cette conclusion n'infirme pas le principe de la théorie de la résonance multiple proposée par M. H. Poincaré et M. Bjerknes. Elle montre seulement que l'explication complète du phénomène est moins simple que ne le suppose l'hypothèse du mouvement pendulaire.

Enfin, il est possible qu'après que la décharge par étincelle a cessé, les deux

Sur les ondes lumineuses stationnaires;

Par M. A. Cotton [1].

En poursuivant des recherches sur la fabrication de réseaux par la photographie de franges d'interférence [2], j'ai utilisé en particulier les ondes stationnaires. J'ai été ainsi conduit à examiner quelques points de la théorie de ces ondes, et à expérimenter des procédés permettant de les étudier directement ou à l'aide de la photographie. Je vais indiquer ici les résultats de ces recherches. Dans les paragraphes I et II, je m'occuperai de la théorie, et j'indiquerai des observations que j'ai faites avec le microscope.

Dans les trois derniers paragraphes, je parlerai des procédés photographiques qui permettent de mettre en évidence les ondes stationnaires sous l'incidence normale (expériences de Wiener et de Lippmann).

I. *Ondes stationnaires et franges d'un seul miroir.* — Supposons qu'un faisceau monochromatique de rayons parallèles rencontre un miroir sous une incidence quelconque, et proposons-nous d'étudier l'interférence du faisceau direct et du faisceau réfléchi. Nous nous trouvons dans un cas particulier du problème plus général où deux faisceaux parallèles, provenant d'une même source, se rencontrent. Il est bon d'indiquer la solution de ce problème plus général, parce qu'elle permet de traiter de la même façon très simple l'étude de presque tous les appareils d'interférence donnant des franges à distance finie.

Soit 2α l'angle que forment entre eux les deux systèmes de rayons (supposés parallèles au plan de la figure), ou, d'une façon plus précise, l'angle formé par deux flèches indiquant la direction et le sens de propagation des deux sortes de rayons (*fig.* 1). Tout l'espace commun aux deux faisceaux est traversé par un ensemble de *surfaces d'interférence*, qui sont des plans parallèles et équidistants. Ces plans sont parallèles au plan de symétrie de la figure formée

---

branches conductrices de l'excitateur continuent à exécuter des oscillations de faible amplitude pour leur propre compte, comme le suppose M. Johnson (*J. de Phys.*, 3e série, t. X, p. 365; 1901).

(1) Séance du 2 mai 1902.

(2) Société française de Physique, Séances des 13 avril, 17 mai (communication de M. Lippmann), 5 juillet 1901. Ces recherches feront l'objet d'une prochaine publication.

par les deux *flèches* et sont par conséquent perpendiculaires au plan de celle-ci. La distance de deux plans consécutifs est égale à $\frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$ (1).

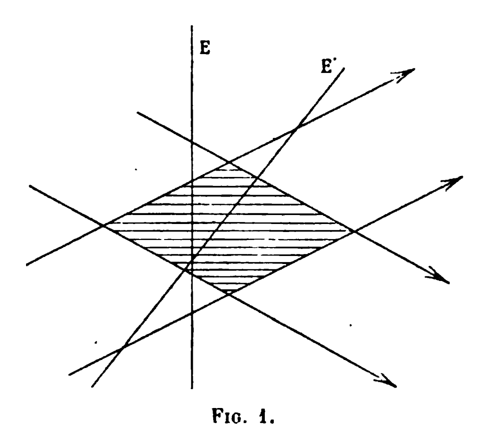


Fig. 1.

Si l'on coupe ces plans par un écran E qui leur est perpendiculaire, on obtiendra des franges rectilignes parallèles et équidistantes

(1) Ces résultats s'obtiennent immédiatement par le calcul, ou bien comme il suit : soit M un point (*fig.* 2) où les mouvements vibratoires relatifs aux deux

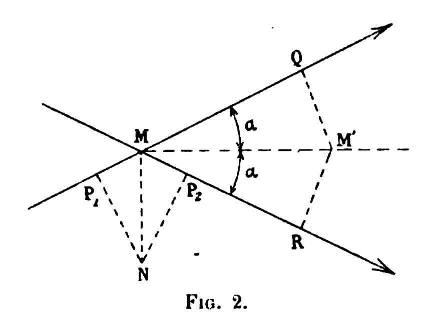


Fig. 2.

ondes planes sont par exemple concordants. En un point M' de la bissectrice, les deux ondes sont également concordantes, puisque les chemins parcourus MQ, MR, sont égaux. Les deux ondes qui arrivent en M se coupant suivant une droite perpendiculaire au plan de la figure, la surface d'interférence est donc le plan dont MM' est la trace.

D'autre part, en un point N de l'autre bissectrice, tel que $MN = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$, les deux ondes sont concordantes, car le mouvement vibratoire pour chacune de ces ondes est exactement opposé à celui qui existe en M $\left(MP_1 = MP_2 = \frac{\lambda}{2}\right)$.

séparées par le même intervalle $d = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$. Ce sera également la distance qui séparera les franges dont on verra l'image en enlevant l'écran et mettant au point, à l'aide d'un instrument d'optique, sur le plan où il se trouvait. Si l'on incline l'écran d'un angle β, les franges qui se forment sont plus écartées $\left(\text{distance } \frac{\lambda}{2 \sin \alpha \cos \beta}\right)$.

Sur la surface plane d'une plaque sensible mise à la place de l'écran, on photographiera un réseau dont on pourra faire varier l'intervalle à volonté. Si la couche sensible est épaisse et transparente, les surfaces d'interférence qui la traverseront y produiront une stratification : on trouve immédiatement (en supposant, pour simplifier, la couche sensible plongée dans un milieu de même indice) que la distance entre les strates est précisément telle que les lames minces formées, éclairées par un faisceau de lumière blanche ayant la direction d'un des faisceaux interférents utilisés précédemment, colorent ce faisceau de la couleur qui avait servi à faire la photographie. Il n'est donc pas nécessaire, pour la reproduction photographique de la couleur d'un faisceau *parallèle*, d'employer les ondes stationnaires : il serait théoriquement possible d'utiliser tous les autres appareils auxquels s'appliquent sans modification les résultats qui viennent d'être indiqués : parmi ces appareils, je citerai les miroirs de Fresnel, le biprisme, les lames minces en forme de coin, les prismes biréfringents en lumière polarisée, etc. [1].

---

[1] Tous ces appareils sont supposés éclairés par un faisceau parallèle, de sorte que les deux sources qui interfèrent sont à l'infini. Si les deux sources

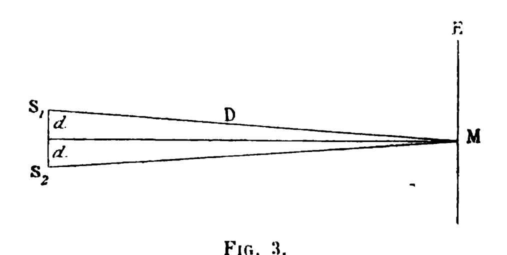


Fig. 3.

ponctuelles S_1, S_2 (*fig.* 3), distantes de $2d$, ne sont pas à l'infini, mais à une distance D suffisante de l'écran où on observe les franges voisines de la frange centrale, on peut encore traiter les deux faisceaux comme deux faisceaux paral-

Dans le cas de l'interférence d'un faisceau incident et d'un faisceau réfléchi, les surfaces d'interférence sont évidemment des plans parallèles au miroir, et, l'angle α étant le complément de l'angle d'incidence i, la distance qui les sépare est $\frac{\lambda}{2 \cos i}$; elle diminue régulièrement à mesure que l'incidence se rapproche de l'incidence normale.

Pour achever de définir complètement la place des surfaces d'interférence, il suffit de connaître la place de l'une d'entre elles. Si la réflexion s'effectuait sans perte de phase, les vibrations incidentes et réfléchies seraient concordantes sur la surface géométrique du miroir, qui déterminerait une surface d'interférence correspondant à un maximum.

En fait, on sait que tout se passe, au moins dans le cas d'un miroir *métallique*, comme si la réflexion se faisait, sans retard, sur un plan situé à une certaine distance de cette surface géométrique; et que la *surface optique* du miroir, ainsi définie (pour une radiation donnée), varie avec l'incidence et avec l'état de polarisation du faisceau incident.

Pour écarter cette complication, je supposerai dans ce qui va suivre — à moins d'indication contraire — que la lumière incidente est polarisée, et de telle manière que les vibrations (de Fresnel) du faisceau incident soient perpendiculaires au plan d'incidence. Les vibrations du faisceau incident et du faisceau réfléchi seront alors parallèles, les vibrations réfléchies sont, en outre, plus intenses, et c'est dans ces conditions, où la théorie est particulièrement simple, que le phénomène d'interférence sera aussi net que possible.

Je supposerai donc qu'un faisceau horizontal sensiblement parallèle et monochromatique provenant d'un arc au mercure, polarisé par un nicol, dont la section principale est horizontale, arrive sur un miroir métallique de façon à ce que le plan d'incidence soit vertical. Si l'incidence est presque rasante, les franges seront très écartées; les franges pourront être distinguées avec une loupe avec laquelle on vise sur le plan E (*fig.* 4) au voisinage de l'arête; ce sont les franges, connues depuis longtemps, dites d'un seul miroir. Si l'on

---

lèles. La formule donnant la distance des franges sur l'écran E prend alors, puisque l'angle α est sensiblement $\frac{d}{D}$, la forme $\frac{\lambda D}{2d}$, ce qui est la formule donnée habituellement à propos des miroirs de Fresnel.

augmente l'incidence, les franges se resserreront de plus en plus; mais on pourra encore les distinguer avec un microscope dont l'ou-

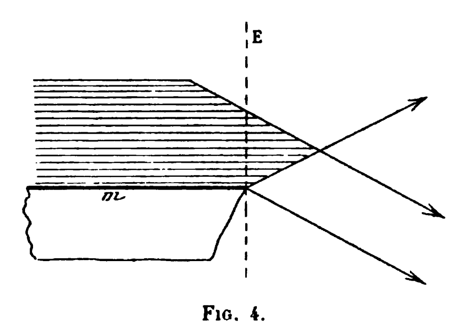


Fig. 4.

verture numérique est suffisante pour recevoir à la fois le faisceau incident et le faisceau réfléchi.

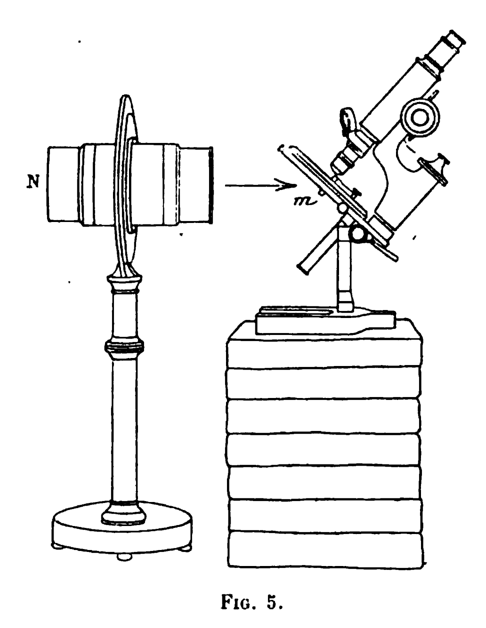


Fig. 5.

Le dispositif représenté (*fig.* 5) est commode pour faire ces observations sous diverses incidences : il suffit, en effet, d'incliner plus ou moins le corps du microscope dans le faisceau qui reste immobile. Le petit miroir m, disposé dans le trou de la platine, et perpendi-

culairement au plan de celle-ci, est découpé dans une glace argentée de manière (1) que l'arête, au voisinage de laquelle on vise, soit aussi bien délimitée que possible.

On commence par mettre ce miroir en place en observant avec un oculaire de très faible puissance : on voit alors dans le champ deux plages lumineuses qui sont les intersections du plan de visée avec les deux faisceaux, incident et réfléchi : lorsque ces deux plages sont distinctes, leurs bords rectilignes apparaissent bordés des franges habituelles de diffraction, qui changent avec la position du plan de visée. On agit alors sur le corps du microscope de façon à amener les deux plages à se superposer et on remplace l'oculaire par un autre plus puissant. *On aperçoit alors les franges fines correspondant aux ondes stationnaires.*

Si la lumière est suffisamment parallèle, on aperçoit ces franges dans toute la partie commune aux deux faisceaux. Si cette condition n'est pas remplie, on voit encore des franges, mais on n'en voit qu'un petit nombre, qui sont, en outre, altérées par la présence des rayons diffractés ; il convient donc de limiter le diamètre apparent de la source pour observer des franges d'ordre plus élevé, en écartant cette complication.

Il est bon de noter d'ailleurs qu'il n'est pas nécessaire d'employer une *fente étroite* pour voir un nombre de franges déjà un peu grand. La discussion de la netteté des franges montre facilement que, pour observer un nombre donné de franges, le diamètre apparent que l'on peut donner à la source croît rapidement à mesure que l'on s'écarte de l'incidence rasante (2).

A cet égard, il est donc plus facile d'observer les franges sous l'incidence de 45°, par exemple, que les franges ordinaires d'un seul miroir sous une incidence presque rasante. En revanche, il faut un grossissement de plus en plus considérable et un objectif d'une ouverture numérique suffisante (3) pour recevoir à la fois les deux faisceaux interférents.

(1) On emploie pour cela l'artifice indiqué par M. Cornu (*Études photométriques. J. de Phys.*, t. X, p. 194 ; 1881), consistant à utiliser le bord *opposé* au trait du diamant. Les faces non argentées sont noircies.

(2) En effet, pour un changement Δi de l'incidence, le déplacement de la frange d'ordre n est $\frac{n\lambda \operatorname{tg} i \, \Delta i}{2 \cos i}$; ce déplacement est donc une fraction de l'intervalle de deux franges égal à $n \operatorname{tg} i \, \Delta i$, fraction qui décroît rapidement à mesure que l'angle i décroît.

(3) L'ouverture numérique minima nécessaire pour une incidence i est évi-

Le cas de l'incidence de 45° est intéressant, parce que les ondes stationnaires dont on voit alors les intersections avec le plan sur lequel on vise sont celles que M. Wiener a photographiées, dans sa célèbre expérience sur l'interférence de deux faisceaux polarisés dirigés à angle droit (¹). *Bien que les franges correspondantes ne soient plus distantes que de $\frac{\lambda}{\sqrt{2}}$, on les aperçoit sans difficulté.*

Il faut noter toutefois, comme me l'avait fait remarquer M. Gouy, que, pour cette expérience elle-même, l'observation directe ne pourrait remplacer la photographie, parce que les rayons, à angle droit près du miroir, sont nécessairement très peu inclinés l'un sur l'autre lorsqu'ils arrivent sur la rétine. En faisant l'expérience, j'ai constaté, en effet, que l'on voit encore les franges lorsqu'on tourne le polariseur d'un angle droit, de façon à utiliser des vibrations comprises dans le plan d'incidence. Dans ce cas, il n'y a pas interférence près du miroir, mais, quand les deux sortes de rayons arrivent sur la rétine, ils sont devenus capables d'interférer.

Si l'on donne au nicol des orientations intermédiaires, ou si on le supprime, les franges perdent beaucoup de leur netteté.

Cela montre que les deux systèmes de franges correspondant aux vibrations perpendiculaires et parallèles au plan d'incidence ne coïncident pas. Ce fait ne tient pas seulement à ce que le miroir est métallique et que la surface *optique* du miroir n'est par conséquent pas à la même place pour les deux catégories de vibrations. J'ai remplacé en effet le miroir argenté par un miroir de verre noir et j'ai observé avec des incidences voisines de 45°, c'est-à-dire comprises

---

demment égale à cos i. Un objectif d'une ouverture numérique égale à 0,95, comme celui que j'employais, permet donc de se rapprocher davantage de l'incidence normale.

(¹) Wiener a rappelé lui-même que Zenker, en 1868, avait proposé, mais non exécuté, une expérience semblable à la sienne. On ne connaît le travail de Zenker que par le rapport de Fizeau, à propos d'une médaille décernée à Zenker, à cette occasion, par l'Académie des Sciences (*C. R.*, LXVI, p. 932; 1868). Autant qu'on peut en juger par ce rapport très bref, Zenker proposait de photographier les franges, et d'observer ensuite la photographie au microscope. Le microscope permettrait, sans doute, de distinguer les franges qui se fixeraient sur une couche sensible très mince, normale au miroir (Neuhaus a réussi à faire des coupes et à voir les stratifications produites dans une photographie du spectre par la méthode de Lippmann). Mais les difficultés d'ordre photographique que Zenker aurait eu à surmonter étaient celles que Wiener a levées plus tard, et c'est à ce dernier qu'appartient, en outre, l'idée de disposer la couche de façon que les franges ainsi fixées fussent visibles à l'œil nu

entre l'incidence brewsterienne et l'incidence normale. On voit alors des franges pour les deux azimuts principaux du nicol, bien qu'elles soient plus nettes, bien entendu, lorsque la lumière incidente est polarisée dans le plan d'incidence; mais les franges disparaissent alors complètement pour certaines orientations intermédiaires du nicol.

Ce fait s'explique facilement en partant des formules de Fresnel relatives à la réflexion vitreuse, en prenant garde au choix particulier d'axes, adopté par Fresnel.

S'il s'agit de vibrations perpendiculaires au plan d'incidence, on peut prendre le même axe pour la vibration incidente et la vibration réfléchie : la formule correspondante de Fresnel indique alors que, sur la surface S de séparation des deux milieux, il y a un changement de signe de la vibration réfléchie ; c'est-à-dire que, sur cette surface S, il y a toujours un minimum quelle que soit l'incidence.

Les ondes stationnaires qui existent alors réellement près du miroir, quelle que soit l'incidence, et les franges que l'on voit se correspondent exactement.

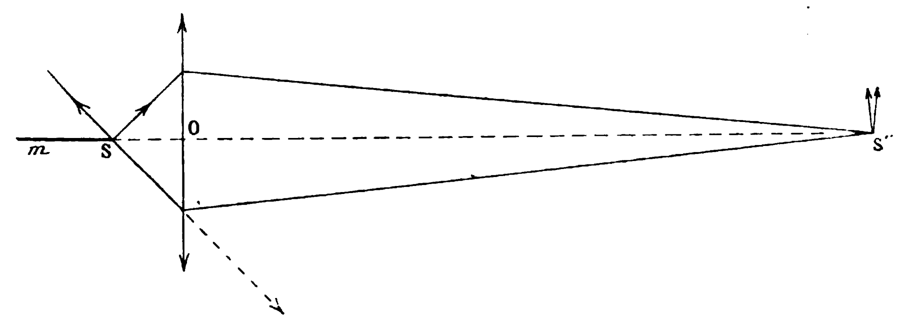


Fig. 6.

S'il s'agit de vibrations comprises dans le plan d'incidence, les vibrations incidentes et réfléchies n'étant plus parallèles, il faut choisir des axes différents pour les deux. Le sens positif de l'axe sur lequel on compte la vibration incidente étant pris arbitrairement, Fresnel compte la vibration réfléchie sur un axe tel qu'il coïncide exactement avec le précédent lorsqu'on rabat le rayon réfléchi sur le prolongement du rayon incident (*fig.* 6). Les sens positifs des deux axes étant ainsi déterminés, la formule de Fresnel montre que sur la surface S, pour des incidences comprises entre l'incidence brewste-

rienne et la normale, il n'y a pas de changement de signe de la vibration réfléchie. Si l'on ramène alors les deux rayons incident et réfléchi à avoir sensiblement la même direction, les vibrations devenues à peu près parallèles pourront interférer; et au point S', conjugué de S, on obtiendra un maximum, les vibrations qui ont parcouru des trajets équivalents étant parallèles et de même signe.

Les deux systèmes de franges d'un seul miroir de verre, ***observées au microscope***, *qui correspondent aux deux orientations principales du nicol, sont donc complémentaires pour toutes les incidences comprises entre l'incidence brewsterienne et l'incidence normale, tandis qu'elles coïncident pour les incidences plus obliques.* Ce résultat est tout à fait d'accord avec ceux qu'a obtenus M. Mascart avec l'appareil des trois miroirs (*J. de Phys.*, 2[e] série, t. VII, p. 183; 1888).

Il est intéressant de noter que, si l'on pouvait observer des franges pour des incidences très voisines de la normale, la lumière étant polarisée dans le plan d'incidence, avec un objectif dont l'ouverture numérique atteindrait l'unité, les franges observées au microscope,

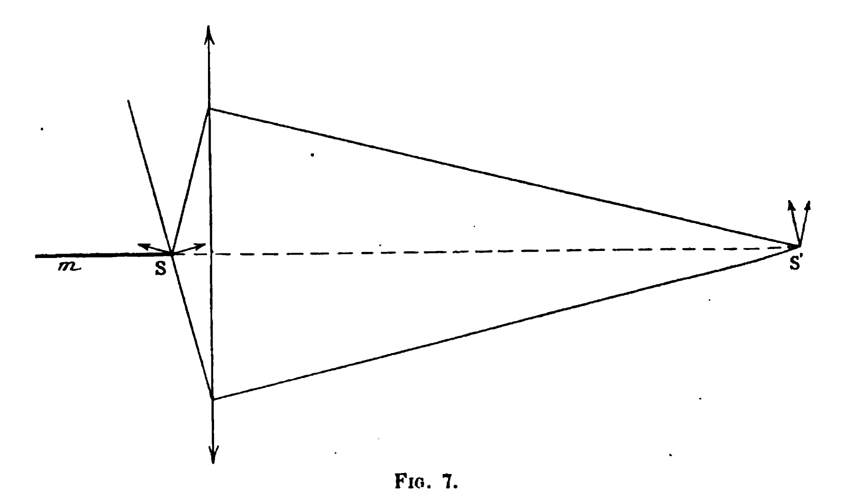


Fig. 7.

et les ondes stationnaires qui renaissent alors (puisque les vibrations incidentes et réfléchies redeviennent presque parallèles), ne se correspondent plus : à un minimum d'onde stationnaire correspondrait en effet une frange brillante dans le champ du microscope, ce qui se comprend au seul examen de la *fig.* 7.

Dans le cas où la réflexion est métallique, les formules de Fresnel

seraient remplacées par des formules plus compliquées, les changements de phase φ, φ', différents pour les deux sortes de vibrations, n'étant plus égaux à 0 ou à π; les deux systèmes de franges ne sont plus exactement complémentaires. L'étude de ces franges pourrait servir à étudier les valeurs de φ et de φ' séparément, tandis que l'étude des propriétés de la lumière réfléchie renseigne seulement sur la différence $\varphi - \varphi'$. La photographie des ondes stationnaires au voisinage du miroir, qui peut toujours être faite si la lumière est polarisée dans le plan d'incidence, fournirait la valeur de φ, et les trois observations se contrôleraient mutuellement.

II. *Sur les ondes stationnaires en lumière convergente.* — Je vais maintenant examiner brièvement le cas où le faisceau éclairant est *convergent.* Je supposerai que le foyer est réduit à un point, ou bien, en d'autres termes, que les ondes sont sphériques. Même ainsi simplifié, le problème consistant à rechercher théoriquement quelles doivent être les ondes stationnaires est beaucoup moins simple que le précédent : il faut tenir compte, en effet, des propriétés des ondes sphériques au voisinage du centre, et on ne peut plus trouver, par un simple raisonnement géométrique, la forme et la place des surfaces d'interférence. La distance séparant deux points voisins, situés sur le même rayon, et pour lesquels la phase est la même, n'est plus constante.

Précisément, ce qui ferait l'intérêt d'une semblable étude, c'est qu'elle pourrait fournir un moyen d'étudier les lois de la propagation d'une onde sphérique. On sait que M. Gouy et plusieurs autres depuis[1] ont mis expérimentalement en évidence l'avance d'une demi-longueur d'onde qui se produit lorsqu'une onde a traversé un foyer.

On pourrait mettre en évidence ce changement de signe en utilisant les ondes stationnaires : mais il serait plus intéressant de chercher à aller plus loin, et à suivre dans sa marche, lorsqu'elle s'approche ou s'éloigne du foyer, cette onde sphérique. On pourrait voir ainsi *de quelle façon* s'établit progressivement ce changement de phase dont on observe au loin les effets : en suivant l'altération régulière de la distance séparant deux minima consécutifs.

Cherchons donc un dispositif qui permettrait de réaliser l'expé-

---

(1) M. Zeeman vient de publier un nouveau dispositif permettant de mettre le fait en évidence à l'aide de franges de polarisation chromatique (*Arch. Néerl.*, 1901).

rience. On trouve d'abord que l'on ne pourrait employer un miroir plan. Si le foyer n'était pas exactement sur le miroir, les faisceaux incident et réfléchi qui se croisent en un point auraient des intensités très différentes, même si le pouvoir réflecteur était égal à l'unité. Mais il y a plus : il ne faut pas oublier que les pertes de phase par réflexion varient avec l'incidence et avec l'état de polarisation. Or, il en résulte qu'*un miroir plan métallique n'est pas, en toute rigueur, aplanétique pour des rayons provenant d'une source ponctuelle à distance finie.*

On pourrait écarter ces difficultés en plaçant la source ponctuelle au centre d'un miroir sphérique de petit rayon. Les ondes stationnaires seraient alors des sphères concentriques que l'on pourrait étudier tout près de la source, si celle-ci était suffisamment bien définie. L'expérience serait encore très difficile : elle paraît cependant moins inabordable.

Je me suis demandé si cette expérience permettrait de résoudre, par des moyens empruntés à l'optique seule, la question de l'orientation de la vibration dans un faisceau polarisé.

On sait que les expériences de Wiener ont paru d'abord à quelques-uns fournir l'argument décisif si longtemps cherché, et trancher tout à fait le différend. Mais, en réalité, elles montrent d'une façon nette que le choix que l'on doit faire dépend immédiatement de la définition théorique admise pour l'*intensité* lumineuse. M. Poincaré, comme on sait, a mis en évidence cette relation nécessaire (1). Mais il a remarqué lui-même que, dans tous les cas réalisés jusqu'ici, où les théories de Fresnel et de Neuman sont équivalentes, les ondes étudiées sont des ondes planes (2). En serait-il de même si elles étaient sphériques?

Il semble au premier abord qu'il doit en être ainsi. Si l'on étudie le problème électromagnétique de la propagation des ondes émises par une source très petite, par exemple un petit excitateur, on trouve que la force électrique et la force magnétique ne se propagent pas exactement de la même façon au voisinage immédiat du foyer. M. Brillouin m'a fait remarquer que le problème, avec la considération des deux vecteurs, était tout traité dans le livre de M. Righi (*Optique des oscillations électriques*, p. 198; 1897). Les composantes de la force

---

(1) On consultera avec grand fruit l'article de M. BRILLOUIN : *les Définitions de la lumière et les Théories optiques* (*Revue générale des sciences*, IV, p. 161 ; 1893).

(2) Préface de *la Théorie mathématique de la lumière*, t. II, p. 13 ; 1892.

électrique étant XYZ, celles de la force magnétique LMN, on obtient des valeurs de la forme :

$$
(1) \quad
\begin{aligned}
X &= C_1 \sin(\omega t - \alpha_1), & L &= D_1 \sin(\omega t - \beta_1),\\
Y &= C_2 \sin(\omega t - \alpha_2), & M &= D_2 \sin(\omega t - \beta_2),\\
Z &= C_3 \sin(\omega t - \alpha_3), & N &= C_3 \sin(\omega t - \beta_3),
\end{aligned}
$$

où les quantités désignées par C, D, α, β sont des fonctions de la distance r au centre d'ébranlement, *fonctions qui ne sont pas les mêmes pour les deux vecteurs*. Si l'on pouvait étudier systématiquement, au voisinage immédiat de la source, en utilisant par exemple les ondes stationnaires, les phases α, β, on trouverait des lois différentes pour la modification progressive des *internœuds* relatifs aux deux vecteurs.

Mais, si l'on considère le problème analogue d'optique, on remarque tout d'abord que l'onde sphérique correspondante ne serait pas très facile à réaliser. Cette onde aurait une amplitude et un état de polarisation qui varieraient d'un point à l'autre suivant une loi particulière : il se trouve même que, dans les cas considérés par M. Righi, il faudrait, pour réaliser les ondes analogues, placer la source lumineuse dans un champ magnétique et employer des écrans ne laissant passer qu'une des composantes de la raie modifiée par le phénomène de Zeeman.

Mais il y a plus. Si même on pouvait réaliser cette onde sphérique, son étude ne permettrait pas de résoudre la question. L'onde est définie en effet par son intensité et son état de polarisation, que l'on peut étudier expérimentalement à une distance un peu grande du centre. Il faudrait représenter cette onde par des équations satisfaisant aux relations fondamentales de Hertz, et aux conditions trouvées expérimentalement, pour les propriétés observées à grande distance du centre. Pour écrire les équations, il faudrait donc faire une hypothèse sur l'orientation de la vibration dans un faisceau polarisé ; et il se trouve que, quelle que soit cette hypothèse (que ce soit la force électrique ou la force magnétique que l'on prenne dans le plan de polarisation), le mode de propagation prévu sera toujours d'accord avec les faits observés [1] : ici encore, on

[1] Si l'on admet l'hypothèse de Fresnel, c'est la *force électrique* qui est normale au plan de polarisation, et c'est de la force électrique que dépend l'*intensité*. Le vecteur que l'on étudiera sera donc représenté par les expressions de la forme $\sin(\omega t - \alpha)$. Si on admet l'hypothèse de Neuman, les équations que l'on sera



trouve que les deux théories sont équivalentes, à la condition d'associer à l'hypothèse sur la polarisation l'hypothèse correspondante sur l'intensité.

Pour en finir avec l'étude des ondes sphériques et avec la partie théorique de ce travail, je ferai remarquer que je viens d'employer le *langage* de la théorie électromagnétique, mais que les résultats seraient les mêmes dans la théorie mécanique. Si on admet la *théorie* électromagnétique elle-même, c'est-à-dire si on admet que les vibrations lumineuses *sont* des vibrations électromagnétiques, la question dont il s'agit ne se pose plus. Les expériences de Righi, de Trouton, etc., sur les oscillations hertziennes, ont montré que les oscillations *électriques* s'effectuent perpendiculairement au plan de polarisation défini expérimentalement par l'étude de la réflexion. D'autre part, les recherches récentes de Rubens et Nichols sur les radiations infra-rouges sont venues établir de nouveaux faits en faveur de la théorie électromagnétique, bien qu'on puisse encore souhaiter, pour cette théorie, des vérifications plus directes.

III. *Expériences de Wiener* (¹). — Dans la seconde partie de ce travail, je vais donner quelques détails sur les procédés les plus simples pour répéter les expériences fondamentales de Wiener et de Lippmann. Ces expériences sont très faciles à faire, surtout quand on dispose d'un arc au mercure. Il fournit, en effet, très commodément un faisceau sensiblement parallèle et monochromatique, c'est-à-dire que les expériences sont faites en réalisant les conditions où la théorie est elle-même la plus simple.

Je me suis servi d'un arc au mercure que M. Dufour a construit de toutes pièces avec une grande habileté, et qui m'a donné toute satisfaction. Je décrirai ailleurs cet appareil qui m'a servi pour la fabrication de réseaux, et qui peut fonctionner pendant des heures, sans qu'on ait à y toucher et sans refroidissement artificiel, avec un courant de 6 à 7 ampères, par exemple. Pour les expériences dont il va être question, il n'est pas nécessaire que la lumière soit rendue

---

conduit à écrire seront les suivantes :

$$L = C_1 \sin(\omega t - \alpha_1), \text{ etc.,} \qquad X = -D_1 \sin(\omega t - \beta_1), \text{ etc.,}$$

qui satisfont elles aussi aux relations de Hertz et aux conditions aux limites. On voit que le vecteur qu'il faut maintenant considérer, c'est-à-dire la force magnétique, se propagera encore de la même façon.

(¹) Wiener, *Wied. Ann.*, XL, p. 203; 1890; — ou *Annales de Ch. et Ph.*, 6e série, XXIII, p. 387; 1891.

rigoureusement parallèle ; on met tout simplement la source au foyer d'une lentille : le faisceau ainsi obtenu est alors assez intense pour que des poses d'un quart d'heure environ suffisent avec les couches sensibles employées. Ce faisceau est filtré par une cuve contenant du bisulfate de quinine (3 centimètres d'une solution à 2 0/0) et par une autre cuve renfermant de l'eau céleste si l'on tient à supprimer, bien que leur action sur la gélatine bichromatée soit à peine sensible, les radiations vertes et jaunes.

Photographie des ondes stationnaires. — M. Izarn a décrit dans les *Comptes Rendus* de 1894 (t. CXXI, p. 884 et 966) un procédé très simple pour répéter l'expérience de Wiener, consistant à employer une plaque sensible formée d'une glace recouverte d'une couche de gélatine bichromatée. Non seulement on obtient ainsi immédiatement une couche sensible transparente et sans grain, mais le mode de *développement* permet d'employer une couche relativement épaisse, tandis que, pour appliquer le procédé de Wiener, cette épaisseur doit être une fraction de demi-longueur d'onde ; ce qui est un très grand avantage.

Pour préparer la solution, on dissout dans 30 grammes d'eau $1^{gr},5$ environ de gélatine et $0^{gr},15$ de bichromate d'ammoniaque ; au moment de l'utiliser, on la liquéfie au bain-marie tiède et on la coule, à travers un entonnoir muni d'un fragment de coton hydrophile, sur la glace que l'on redresse et que l'on met sécher à l'obscurité. On applique ensuite le côté sensibilisé contre un miroir argenté bien poli, et on règle la pression de façon que les franges de Newton, en lumière monochromatique non actinique, aient une forme et un écartement convenables. Après exposition, on lave simplement la glace à l'eau *tiède* qui fait apparaître l'image. Les franges apparaissent sous forme de stries qui, le plus souvent, sont visibles sur la plaque sèche, mais que l'on fait apparaître très nettement, dans tous les cas, en plongeant la plaque dans l'eau froide.

Les ondes stationnaires qui traversaient la couche ont en effet modifié la gélatine bichromatée ; elles ont produit dans l'intérieur une sorte de *stratification*. Tandis que les couches où la lumière n'a pas agi ont conservé leurs propriétés primitives, celles qui ont subi l'action de la lumière sont modifiées ; la gélatine est devenue insoluble dans l'eau tiède, et a perdu la propriété de se gonfler dans l'eau froide. L'*agent d'érosion* constitué par l'eau tiède fait donc apparaître les *affleurements* de ces strates ; ils dessinent alors les lignes

d'égale épaisseur du coin interposé entre le miroir et la couche sensible.

L'expérience peut se faire avec de la lumière blanche décomposée par un spectroscope ; avec le faisceau provenant de l'arc au mercure, elle est immédiatement installée. Si l'on veut écarter, comme le fait Wiener, l'objection tenant à la présence des interférences de Newton, il suffit d'enlever l'argenture sur une partie du miroir (noirci par derrière) et d'interposer une goutte de benzine entre la couche sensible et le miroir ; les franges apparaissent très nettement et seulement en regard de la partie argentée, tandis qu'elles disparaissent alors complètement là où l'argent a été enlevé.

On peut obtenir des images qui peuvent être projetées sans difficulté, en variant légèrement la façon de faire apparaître la trace des franges. Je profite pour cela d'une propriété curieuse de la gélatine bichromatée, qui est intéressante à plus d'un titre, et qui n'avait pas échappé à M. Izarn.

Au lieu de traiter la plaque par l'eau tiède, on révèle l'image en soufflant sur la glace, de façon à condenser l'haleine et à provoquer un dépôt de rosée sous forme de fines gouttelettes.

On sait avec quelle délicatesse ce dépôt de buée renseigne sur les modifications qu'a éprouvées une surface de verre ou de métal : c'est en l'*interrogeant* de cette manière, suivant le mot de Foucault, que l'on s'aperçoit si une surface de verre est bien propre, ou si un miroir d'argent est suffisamment bien poli, et peut servir, par exemple, à la daguerréotypie (¹).

Sur une plaque de verre recouverte d'une couche très mince de gélatine bichromatée (employée sèche) et dont une partie a été exposée à la lumière, le dépôt de buée se produit d'abord *aux endroits éclairés* et indique leur place avec une grande netteté. Il est commode, pour le constater, de placer tout près de la surface sensibilisée une toile métallique qu'on éclaire vivement. Une minute

---

(¹) Dans ce cas, il faut prendre garde de ne pas provoquer sur la surface d'argent un dépôt irrégulier et trop abondant. Si l'on protège la surface par un écran découpé, et qu'on provoque sur la partie découverte un dépôt de rosée trop abondant, on obtient une silhouette de l'écran, qui apparaît surtout lorsqu'on souffle à nouveau sur la glace. On peut de même, comme on le sait depuis longtemps, *révéler* des caractères tracés sur un dépôt de buée, avec un pinceau très doux, alors qu'ils semblaient avoir complètement disparu par évaporation.

On trouvera, dans cet ordre d'idées, beaucoup de faits intéressants dans le volume de l'*Encyclopédie Roret* relatif à la *Photographie* (t. I, p. 200 ; 1862).



d'exposition suffit si l'on fait l'expérience avec la lumière solaire ou avec la lumière (non condensée) d'un arc ordinaire à 1 mètre de distance. Un lavage à l'eau *froide* suffit pour mettre la glace à l'abri des effets d'un éclairement ultérieur, et le dépôt de buée révélera ensuite l'image toutes les fois qu'on le désirera ([1]).

On photographie de même les franges de Wiener avec l'arc au mercure. Ici encore les images peuvent être projetées facilement; elles ont alors, par transmission, l'aspect d'un négatif. On peut ainsi distinguer immédiatement les franges claires des franges sombres, un dépôt abondant de buée indiquant la place des premières.

Il est commode, pour préparer les glaces, d'employer des solutions très diluées qui ne se prennent plus en gelée par le refroidissement. J'ai employé, par exemple, une solution contenant, dans 300 grammes d'eau, 1 gramme de gélatine et 0,15 de bichromate d'ammoniaque : il suffit de verser *à froid* cette solution sur la glace à recouvrir, et de la laisser sécher, ce qui n'exige que quelques instants. Les couches ainsi obtenues sont extrêmement minces ; elles le sont trop pour donner des couleurs de Newton par réflexion (quand la couche est sèche); et on peut constater, par les divers procédés qu'a décrits Wiener, que leur épaisseur est comparable à celle des couches de collodion qu'il employait lui-même. Malgré leur minceur, elles permettent encore de répéter les expériences précédentes, et, en particulier, il devient alors très commode d'étudier la forme d'une surface en l'adossant à un miroir plan. Si par exemple on argente le plan de verre de l'appareil ordinaire à anneaux de Newton, et

---

([1]) On peut conserver ces images ainsi formées en les plongeant dans la benzine, qui ne les altère pas, et au travers de laquelle l'évaporation des gouttelettes d'eau constituant l'image se fait très lentement. On peut aussi les recouvrir d'une solution de baume du Canada qui laisse un vernis, lequel s'oppose à l'évaporation ; je signalerai à cette occasion que ces dépôts de buée donnent souvent de très belles couronnes de diffraction. On les obtient à coup sûr en recouvrant une glace nue d'une première couche de baume, puis en soufflant sur la face recouverte. Le dépôt se fait alors très régulièrement, avec des gouttelettes dont on peut faire varier à volonté la grosseur. Une fois qu'on l'a obtenu, une nouvelle application de la solution de baume suffit pour le préserver de l'évaporation.

Bien d'autres procédés peuvent être utilisés pour fixer ces images. On peut appliquer, par exemple, le procédé « aux poudres », qui a servi à obtenir des émaux photographiques. Pour cela, on saupoudre l'épreuve humide d'une poudre très fine qui adhère aux endroits où la lumière n'a pas agi. J'ai trouvé commode d'appliquer cette poudre non pas au pinceau, mais avec un soufflet : la poudre était le mélange de soufre et de minium qui sert dans des expériences d'électrostatique. On répète plusieurs fois l'opération en renouvelant l'action de la vapeur d'eau. On peut ainsi obtenir des photographies des franges de Wiener.

qu'on *sensibilise* la surface de la lentille, on photographie ainsi les anneaux dessinant les lignes d'égale épaisseur. La raie bleue de l'arc au mercure ayant pour longueur d'onde dans l'air 0,436 μ, la distance verticale des courbes de niveau ainsi dessinées est 0,218 μ. Elle est encore réduite si l'on utilise la benzine.

IV. *Analogies avec le procédé du daguerréotype.* — J'ai dit plus haut que le dépôt de rosée constituant les images se produisait d'abord *aux endroits éclairés* : ce fait est à rapprocher de ce qui se passe quand on révèle une image daguerrienne, où l'image est encore formée par de très petites gouttelettes (visibles au microscope), et qui se condensent surtout *aux endroits éclairés*. On sait, depuis longtemps, qu'on peut, si l'action de la lumière est suffisante, révéler une image par la vapeur de mercure, sur une plaque d'argent *non ioduré* : j'ai eu l'occasion de vérifier ce fait et d'observer qu'ici encore la même règle se vérifie.

Il est intéressant de rapprocher ces faits de l'action condensante qu'exercent, comme on sait, des radiations très diverses (rayons ultra-violets, rayons de Röntgen, rayons des corps radio-actifs) sur de la vapeur d'eau saturée à l'abri des poussières de l'air. Il semble que, dans l'action de la lumière sur la gélatine bichromatée, on pourra, comme dans les autres cas, examiner l'hypothèse d'une ionisation, les ions libérés constituant des centres de condensation.

Il est certain, en tout cas, qu'il y a une grande analogie entre l'apparition de ces images par insufflation et la formation si curieuse — et qui ne me paraît pas encore, malgré de récents travaux, complètement expliquée — des images dans la boîte à mercure de Daguerre. Cette analogie devient frappante si l'on recouvre, d'une mince couche de gélatine bichromatée, non pas une glace nue, mais une glace argentée (¹). On peut faire ainsi, avec quelques minutes de pose à la lumière d'un arc nu, à 2 mètres de distance, des copies de positifs par contact ; on peut aussi — en posant, bien entendu, plus longtemps — fixer des images à la chambre noire. Les images qui apparaissent sur la plaque, lavée et séchée, toutes les fois qu'on souffle à la surface, sont très fines quand le dépôt est bien régulier et n'est pas trop abondant. Ces images sont des positifs, sauf si on les éclaire sous l'incidence de réflexion régulière.

(¹) Le miroir ainsi recouvert d'une couche de gélatine bichromatée insolée se conserve très longtemps (Izarn, *C. R.*, CXX, p. 1314 ; 1894).

Comme dans le daguerréotype, l'épaisseur de la couche recouvrant le miroir n'est pas indifférente, mais influe sur la sensibilité de la plaque et la vigueur des images. L'explication est la même; elle se déduit précisément, comme Wiener et Scholl [1] l'ont montré, de la considération des ondes stationnaires. J'ai eu occasion de faire, avec la lumière bleue de l'arc au mercure, l'expérience la plus démonstrative de Scholl. Une glace argentée portant une couche d'iodure en forme de coin, donnant les couleurs de Newton de différents ordres, est exposée à la lumière bleue du mercure; avec un diamant, on la coupe en deux; un des morceaux est développé par les vapeurs de mercure, puis fixé; le reste de la plaque est laissé intact. On juxtapose à nouveau les deux morceaux en s'aidant de repères tracés d'avance, et on place le tout dans le faisceau monochromatique qui a servi à impressionner. On constate alors que le dépôt de mercure n'est pas uniforme, mais s'est produit particulièrement sur le prolongement des franges *noires* visibles par réflexion (normale) sur la partie où la couche d'iodure a été conservée. Il y avait donc, en ces points où l'action est maxima, accord entre le rayon direct et le rayon réfléchi, et désaccord entre les deux rayons réfléchis : c'est la façon la plus simple de mettre en évidence le changement de signe par réflexion normale sur la surface d'un milieu plus réfringent.

On peut faire, avec la gélatine bichromatée, l'expérience correspondante; mais il est, dans ce cas, préférable d'employer l'iodure d'argent, parce que la couche de gélatine bichromatée a une épaisseur qui change beaucoup avec l'état hygrométrique.

V. *Expériences de M. Lippmann.* — M. Lippmann a signalé lui-même qu'on pouvait photographier les couleurs en employant, comme couche sensible, la gélatine bichromatée. L'expérience ne présente aucune difficulté : On recouvre la glace d'une couche qui doit être naturellement bien plus épaisse que pour les expériences précédentes (solution concentrée indiquée plus haut, coulée sur la glace disposée horizontalement et laissée à sécher dans cette position). La glace sèche est placée horizontalement avec le côté recouvert (reconnaissable alors facilement à sa couleur jaune) en dessus; on la surmonte d'un cadre dans lequel on verse du mercure et on éclaire par-dessous, pendant un quart d'heure, par exemple, avec le faisceau bleu mono-

(1) Wiener, *Wied. Ann.*, LXVIII, p. 145-148; 1899; — Scholl. *Ibid.*, p. 149-182.

chromatique provenant de l'arc au mercure. On lave soigneusement à l'eau froide, on sèche, et l'on obtient une épreuve fixée où on ne voit aucune coloration, mais où des couleurs vont apparaître avec beaucoup d'éclat lorsqu'on s'y prendra convenablement.

M. Lippmann a indiqué lui-même, en effet, que les couleurs n'apparaissent pas quand la couche est sèche, qu'il faut pour les faire apparaître rendre la couche humide en soufflant à sa surface. Il convient de répéter cette opération jusqu'au moment où la buée finit par se déposer sur l'épreuve. On voit alors des colorations; elles sont encore pâles.

Je pense que l'explication est la suivante : les strates formées de couches de gélatine alternativement *insolée* et non *insolée* ont des indices qui ne doivent pas différer sensiblement; mais cette différence s'accentue lorsque de l'humidité pénètre dans la couche, car les parties non insolées s'imprègnent d'eau et leur indice de réfraction s'abaisse en se rapprochant de celui de ce liquide. Les réflexions se produisent alors dans la couche et le phénomène d'interférence apparaît.

Pour donner aux couleurs tout leur éclat, il faut alors plonger la plaque, amenée au point d'humidité convenable, dans de la benzine. En regardant où il faut, c'est-à-dire par réflexion *sous une incidence convenable*, on voit alors les couleurs avec un éclat surprenant, comparable à celui des bonnes épreuves aux sels d'argent; elles peuvent être facilement projetées, et on constate la variation de la coloration avec l'incidence. Cette augmentation considérable de la vivacité des teintes tient simplement à ce que la benzine a presque complètement supprimé les réflexions parasites sur la surface air-gélatine et sur la surface postérieure de la glace. Cette précaution est utile déjà, comme on sait, avec la couche sensible aux sels d'argent; elle est ici beaucoup plus nécessaire, sans doute parce que les « lamelles » formées dans l'intérieur de la couche ont un pouvoir réflecteur plus faible. Ces lamelles sont assez nombreuses cependant pour que les teintes soient vives et pures.

Les couleurs complémentaires, par transmission sous les incidences correspondantes, sont visibles dans ces épreuves, bien qu'elles soient naturellement beaucoup plus pâles. J'ai remarqué qu'on les voit mieux lorsque, l'angle d'incidence étant un peu grand, on les observe au travers d'un nicol convenablement orienté : on comprend en effet qu'on puisse ainsi *favoriser* les rayons qui ont subi des réflexions successives.

Les teintes correspondant à une incidence donnée changent beaucoup avec le degré d'humidité; et il est difficile, dans le cas actuel, d'obtenir des teintes *plates* un peu étendues. Cette variabilité des teintes, jointe à la difficulté provenant de ce que l'on ne sait pas « panchromatiser » la gélatine bichromatée, ne permet guère d'espérer un emploi pratique de cette substance dans les applications courantes du procédé de M. Lippmann. Mais on obtient ainsi très facilement *des* couleurs, sinon *la* couleur qui a servi à faire la photographie, et il y a là, pour des élèves, une manipulation instructive et très facile.

J'ajouterai qu'on obtient aussi les couleurs en remplaçant le mercure par un miroir d'argent : seulement on photographie en même temps les franges de Wiener du coin d'air interposé. Le fait qu'un miroir *de mercure* a pu paraître nécessaire tient à ce que les faisceaux généralement employés ne sont pas parallèles, mais proviennent d'un objectif faisant converger la lumière sur la plaque. On n'est plus alors exactement dans les conditions où la théorie est simple, et les ondes stationnaires ne sont nettes que tout près du miroir.

Il semble qu'une conclusion pratique peut être tirée de cette remarque. Si l'on veut, dans l'application pratique de la méthode interférentielle, obtenir un grand nombre de lamelles, et augmenter par là la pureté des teintes obtenues, il ne faut pas employer des objectifs trop *ouverts*.

Préparation de lames minces métalliques par projection cathodique;

Par M. L. Houllevigue (1).

Les physiciens savent depuis longtemps que, dans les tubes à gaz raréfiés où jaillit l'effluve, les parois se ternissent peu à peu, par suite de la désagrégation des électrodes; cette propriété a été utilisée par Longden (2) pour préparer des résistances en platine,

(1) Séance du 21 novembre 1902.
(2) *Physical Review*, t. XI, p. 40-55 et p. 84-94.

et par Boas [1] pour déposer, dans l'hydrogène raréfié, les métaux nobles. J'ai pu, de mon côté, en étudiant le phénomène des projections cathodiques, montrer qu'il constitue une méthode très générale pour fixer des pellicules métalliques sur un support conducteur ou isolant (métaux, fibre, ébonite, verre, etc.); en effet, onze métaux ont été jusqu'ici déposés par ce procédé, l'or, l'argent, le platine, le palladium, le cuivre, le fer, le nickel, le cobalt, le zinc, l'étain et le bismuth; et il est probable que la méthode peut s'appliquer à beaucoup d'autres.

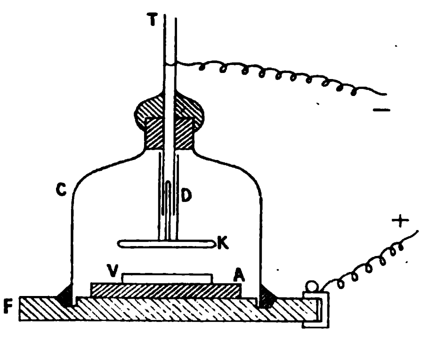


Fig. 1.

Les lames de verre métallisées étant les plus intéressantes à étudier, j'indiquerai tout d'abord le dispositif employé pour les obtenir. Une cloche en verre C (*fig.* 1), à bords inférieurs rodés, repose sur une plaque en fonte F où elle est scellée à la glu marine. Par la tubulure supérieure de C passe, à travers un bouchon de caoutchouc également mastiqué à la glu, un tube de laiton T relié à la trompe à mercure. Une tige de laiton s'engage dans T et porte à sa partie inférieure une lame K du métal à déposer. Un tube en verre D recouvre la tige et la partie de T contenue dans la cloche. La lame à métalliser V repose, en face de K, sur un disque d'aluminium A, placé lui-même sur F. Enfin T est relié au pôle — et F au pôle + du secondaire d'une bobine d'induction; on a utilisé, à cet effet, une bobine du type Ducretet à excitateur indépendant; mais il est vraisemblable qu'un transformateur quelconque pourrait rendre les mêmes services.

(1) *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XIII, p. 565-566.

Le réglage de la distance de K à V est important; la qualité du dépôt obtenu en dépend essentiellement, bien qu'en certains cas un bon dépôt puisse être obtenu pour des distances très variables; on peut recommander, comme règle générale, de placer la lame à métalliser à 15 millimètres environ au-dessous de la cathode.

L'appareil étant ainsi disposé, on fait fonctionner la trompe et on amène un vide compris entre 1/20 et 1/100 de millimètre; puis on fait fonctionner la bobine (avec 5 à 10 ampères au primaire); l'effluve illumine toute la cloche, et la cathode s'entoure d'un espace sombre (espace de Hittorff); mais le vide s'abaisse par dégagement des gaz occlus par la cathode; il faut interrompre plusieurs fois le fonctionnement de la bobine en laissant travailler la trompe. Il s'écoule ainsi, jusqu'à ce que la cathode ait été purgée de gaz, un temps fort variable d'un métal à l'autre, mais particulièrement long avec le platine et surtout avec le palladium; quand ce résultat est atteint, la cathode projette autour d'elle sa propre substance, dont la majeure partie va s'appliquer sur la lame de verre qui lui fait vis-à-vis; celle-ci se métallise rapidement, en même temps que toute la cloche s'échauffe; on arrête l'opération quand on juge que la pellicule déposée présente une épaisseur suffisante; on laisse refroidir, on fait rentrer l'air et on retire la lame métallisée.

Les pellicules préparées par ce procédé possèdent, suivant la durée de l'opération, tous les degrés de transparence ou d'opacité; elles possèdent en même temps le poli spéculaire et sont, en général, assez adhérentes pour pouvoir supporter le contact d'un blaireau, bien que, à cause de leur minceur extrême, il soit plus prudent de les épousseter à l'aide d'un jet d'air filtré à travers du coton; les dépôts de fer paraissent particulièrement tenaces et peu oxydables. Vus par transparence, la plupart des métaux présentent une couleur brune (couleur café); le cuivre est nettement vert, l'or d'un bleu verdâtre, l'argent violet; examinés par réflexion, ils présentent, surtout du côté verre, les irisations des lames minces.

L'épaisseur des couches métalliques déposées sur verre n'est pas uniforme, comme on peut s'en rendre compte en les examinant par transparence. En général, cette épaisseur est moindre au centre et suivant certaines lignes voisines des quatre coins de la plaque. Cet effet est particulièrement marqué lorsqu'on emploie des cathodes rectangulaires de même dimension que la plaque (4 centimètres sur 5); avec des cathodes circulaires et des lames de verre rectangulaires,

il est beaucoup moins accusé, et certains dépôts obtenus avec ce dispositif ont paru présenter une épaisseur presque uniforme. L'emploi d'un disque de verre circulaire paraît donner une régularité plus grande encore.

En préparant les couches pelliculaires des différents métaux énumérés ci-dessus, j'ai été amené à faire certaines remarques utiles à signaler :

1° Les couches minces de platine et surtout de palladium paraissent être dans un état de distension extrême : une couche de palladium, parfaitement régulière et réfléchissante, examinée au microscope, s'est craquelée et fendillée en quelques secondes par l'humidité de la respiration ; le même effet s'est manifesté sur les bords d'une lamelle de platine;

2° Une pellicule de cuivre, verte par transparence, retirée chaude encore de la cloche où elle s'était formée, a subi une altération singulière : elle s'est transformée peu à peu en une substance très transparente, à peine jaunâtre, qui vraisemblablement était de l'oxyde ; cette transformation, commencée sur les bords, progressait vers l'intérieur par cristallisations arborescentes, mais elle se ralentit dès le lendemain et, depuis quatre mois, la lame est restée dans un état presque stationnaire, laissant inattaquée la plage centrale, plus mince que le reste de la pellicule. A cet arrêt dans l'oxydation, je ne vois, pour l'instant, qu'une explication vraisemblable, c'est que l'épaisseur de la plage centrale du métal était inférieure à la dimension minimum des cristaux d'oxyde ; il résulterait de là que le cuivre serait moins altérable en pellicules minces qu'en couches épaisses; je me propose de contrôler cette hypothèse par l'expérience;

3° Des essais ont été faits et continués pendant sept jours pour obtenir un dépôt de carbone avec une cathode en aggloméré (charbon pour balais de dynamos) ; on n'a obtenu qu'une très mince pellicule, présentant de belles irisations, et soluble dans l'acide nitrique ; cette pellicule est probablement du cuivre provenant de la soudure de la cathode en charbon avec la tige qui sert à la soutenir.

Quelques essais ont, en outre, été faits avec les pellicules métalliques obtenues par projection cathodique ; je vais les rappeler brièvement : 1° Une pellicule de bismuth, munie de deux prises de courant, a été intercalée dans un pont de Wheatstone ; sa résistance, égale à $26^{\omega},90$, n'a éprouvé aucune variation dans un champ magnétique de 2.250 unités ; si elle s'était comportée comme la spirale de

Lenard utilisée pour la mesure du champ, sa résistance aurait dû croître de $1^{\omega},4$. Il résulte de là que le bismuth obtenu par projection cathodique est insensible à l'action du champ magnétique. M. Leduc avait déjà remarqué que le bismuth électrolytique est d'autant plus sensible au magnétisme que sa structure cristalline est plus accusée ; il semble donc que le bismuth obtenu par projection cathodique soit complètement amorphe ; des essais en vue de lui donner le grain cristallin par recuit à 350° dans l'oléonaphte ont échoué, le métal ayant été profondément altéré par l'opération ;

2° Les lames transparentes de fer, placées normalement au champ d'un électro de Ruhmkorff, permettent de constater aisément l'existence du pouvoir rotatoire magnétique. Une variation de champ égale à 12.250 unités a produit une rotation positive égale à 1°,18′ (moyenne de 4 déterminations), déduction faite de la rotation due à la lame de verre qui sert de support ;

3° J'ai fait également sur certains dépôts transparents des essais que je puis indiquer, bien qu'ils m'aient donné un résultat négatif : Des lames translucides d'argent et de cuivre ont gardé la même résistance électrique dans l'obscurité ou à la lumière (image d'un bec Auer) naturelle ou polarisée. D'autre part, deux couches transparentes, l'une de fer, l'autre d'argent, en contact par leurs bords, ne donnent naissance à aucun effet photo-électrique, lorsque le contact fer-argent est exposé à la lumière.

De ce qui précède, il paraît résulter que les projections cathodiques peuvent, dès à présent, être utilisées avec profit dans les laboratoires de physique et par les constructeurs d'instruments scientifiques, pour obtenir des dépôts métalliques minces ; elles viennent en complément de la galvanoplastie, avec laquelle elles présentent quelques analogies. C'est pourquoi on pourrait donner le nom d'*ionoplastie* à l'ensemble des procédés décrits ci-dessus pour la préparation de ces dépôts métalliques.

Influence de la vitesse de charge d'un excitateur sur l'allongement de sa distance explosive par les rayons ultra-violets;

Par M. R. Swyngedauw [1].

J'ai annoncé antérieurement [2] que la lumière ultra-violette allonge la distance explosive d'un excitateur beaucoup plus dans une charge rapide que dans une charge lente.

J'énonçais ce fait en disant que la lumière ultra-violette abaisse les potentiels explosifs dynamiques beaucoup plus que les potentiels explosifs statiques; cette loi se trouvait parfois en défaut.

Pour me rendre compte de ces contradictions, je fus amené après quelques tâtonnements à attribuer cette différence d'action à une différence de vitesse de charge de l'excitateur. En effet, par définition, la charge dynamique est rapide, le potentiel varie très rapidement, la charge statique est lente, le potentiel varie lentement. Le caractère fondamental qui distingue les deux modes de charges est donc la vitesse de variation du potentiel $\frac{dV}{dt}$.

Si, d'autre part, on considère que l'action des rayons ultra-violets se fait sentir en un temps notablement plus court que la décharge employée, on est conduit à énoncer la proposition suivante: *L'allongement de distance explosive d'un excitateur sous l'action de la lumière ultra-violette est une fonction croissante de sa vitesse de charge, à l'instant où l'étincelle éclate.*

Pour vérifier cette proposition, j'ai eu recours à la méthode des deux excitateurs dérivés, que j'ai décrite ailleurs [3], et que je rappelle seulement en deux mots.

Entre deux points d'un circuit de décharge d'un condensateur, on dérive deux excitateurs identiques E et N (*fig.* 1), qui sont à chaque instant au même potentiel.

En plaçant l'excitateur N dans des conditions physiques constantes et en le chargeant par un mode de charge invariable, on maintient le potentiel explosif de N constant; en plaçant E dans des conditions physiques données, *on pourra déterminer la distance* explosive

(1) Séance du 22 novembre 1902.

(2) *C. R.*, 20 janvier 1896.

(3) *J. de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 295, 1897; et ce vol., p. 14.

de E pour le *potentiel quelconque*, mais *constant*, de N, en déterminant la distance explosive *équivalente* des deux excitateurs.

Pour charger les excitateurs par une méthode statique, on réunit les pôles des excitateurs dérivés à ceux de la machine de Holtz et aux armatures d'une ou deux jarres de 0,005 microfarad.

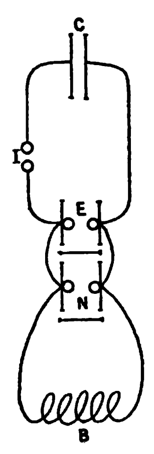


Fig. 1.

Pour charger les excitateurs par une méthode dynamique, on réunit les armatures d'une jarre C entre elles par un circuit comprenant une bobine et un interrupteur formé par un excitateur à boules I, et on place les deux excitateurs dérivés *en dérivation*, entre les extrémités de la bobine (*fig.* 1).

Lorsqu'une étincelle éclate à l'excitateur I, la bobine est traversée par la décharge et la différence de potentiel entre les pôles des excitateurs dérivés en contact avec ses extrémités passe, en un temps très court par rapport à la durée de l'étincelle, de la valeur zéro *au potentiel maximum* ou potentiel critique, dont la valeur est voisine du potentiel auquel on a chargé le condensateur (1); et la vitesse de charge de l'excitateur $\frac{dV}{dt}$ passe d'une valeur inconnue à la valeur zéro qu'elle atteint au *potentiel maximum*.

Si nous remarquons que, pour une décharge déterminée, c'est-à-dire pour une même distance explosive de l'excitateur I, chaque dis-

(1) Swyngedauw, *Arch. de Genève*, mai 1897.

tance explosive de l'excitateur dérivé N correspond à un potentiel explosif différent et à une vitesse de charge différente de l'excitateur ; si donc notre proposition est vraie, nous devons trouver :

I. *Qu'à chaque distance explosive de l'excitateur dérivé non éclairé correspond un allongement différent de la distance explosive ;*

II. *Que, lorsque la distance explosive de N tend vers sa distance critique, l'allongement de la distance explosive diminue en tendant vers l'allongement statique*, c'est-à-dire vers une quantité inappréciable dans les expériences actuelles.

Le tableau suivant résume les expériences qui démontrent ces propositions.

I = 4 millimètres.

Observations	Distances explosives N en millimètres	Distances explosives E en millimètres	Excitateur auquel l'étincelle éclate	Accroissement de la distance E pour le potentiel explosif de N
E et N non éclairés	1,2	1,2	E	
»	»	1,3	N	
On éclaire E......	»	2,1	E	0mm,9
»	»	2,2	N	
E et N non éclairés	2,2	2,2	E	
»	»	2,3	N	
On éclaire E......	»	3,4	E	1mm,2
»	»	3,5	N	
E et N non éclairés	3,3	3,6	E	
»	»	3,4	N	
On éclaire E......	»	3,5	E	0mm,2
»	»	3,3	N	
E et N sont éclairés	3,5 distance critique	3,5	E	
»	»	3,6	N	0
On éclaire E......	»	3,5	E	
»	»	3,6	N	

Le condensateur est une jarre de capacité 0,005 microfarad.

L'excitateur principal I est formé de sphères de 2 centimètres de diamètre en laiton, vissées directement sur l'excitateur ; les excitateurs dérivés E et N, de sphères de 0m,167 de diamètre en laiton, vissées sur isolant, munies d'écrans en paraffine et polies, et réunies entre elles par des fils courts et reliés par des tubes en U remplis de mercure ; un écran opaque est placé entre E et N.

La lampe à arc, à 1 mètre de E, est au régime de 8 ampères, sans condenseur ; on rend l'intensité de l'arc aussi constante que

possible; on polit les excitateurs dérivés après chaque étincelle, et on fait éclater les étincelles toutes les minutes (¹).

Ces expériences pourraient s'expliquer par une variation de l'allongement avec la distance explosive ; mais cette loi se retrouve lorsqu'on opère avec un potentiel explosif principal quelconque; d'ailleurs, pour éviter cette critique, nous démontrons directement la proposition II, pour une même distance explosive N.

Première méthode. — Traçons la courbe de la variation du potentiel de l'excitateur dérivé N avec le temps sous l'influence de la décharge considérée au voisinage du potentiel maximum, et en supposant qu'il n'éclate pas d'étincelle dérivée.

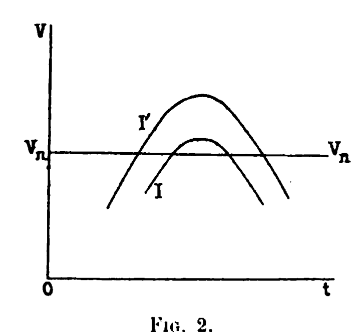


Fig. 2.

Portons en ordonnées les potentiels et en abscisses les temps écoulés depuis le début de la décharge (*fig.* 2). Pour la distance principale I, la courbe a la forme I; pour une distance un peu plus grande I', la courbe a la forme I'; l'excitateur dérivé atteint le potentiel maximum sensiblement dans le même temps dans les deux expériences. Ceci serait rigoureusement vrai si la décharge pouvait se faire sans étincelle, car la période est indépendante du potentiel auquel on a chargé le condensateur; dans la décharge par étincelle, cette condition est encore approximativement réalisée.

Supposons maintenant que l'on fasse éclater une étincelle dynamique en N, en prenant pour distance explosive principale I et I'; si N = constante, l'étincelle y éclatera toujours au même potentiel marqué par la parallèle V_nV_n, et $\frac{dV}{dt}$ aura la valeur représentée par le coefficient angulaire aux courbes I et I' en leurs points d'intersection avec la droite V_nV_n. On voit alors qu'à la plus grande distance explosive principale correspond la plus grande vitesse $\frac{dV}{dt}$.

La proposition à démontrer devient alors :

Pour une même distance explosive de l'excitateur dérivé non éclairé, la distance explosive de l'excitateur éclairé augmente quand la distance explosive principale croît.

(¹) Thèse, p. 29: — *Éclairage électrique*, 22 mai 1897, p. 402 ; — *J. de Phys.*, 3ᵉ série. t. VI, p. 299.

L'expérience vérifie cette conclusion.

Expérience. — Si l'on reprend le dispositif de la page 141, la distance explosive de E éclairé équivalente à $N = 2^{m},25$ est : $E^e = 2^{m},75$, si $l = 6$ mm.; elle est $E^e = 3^{mm},05$, si $l = 8$ mm.

Deuxième méthode. — Considérons la disposition expérimentale de la page 141, et prenons comme circuit deux bobines en série. Si l'on désigne par B'_1 et B''_1 les extrémités de la première bobine, et par $B'_2B''_2$ les extrémités de la seconde, il est évident que le potentiel maximum atteint entre B'_1 et B''_1, ou entre B'_2 et B''_2, est plus petit qu'entre B'_1 et B''_2.

Si l représente la variation du potentiel aux extrémités $B'_1B''_1$ en fonction du temps, l' représentera la variation du potentiel aux extrémités $B'.B''_2$ (*fig.* 3).

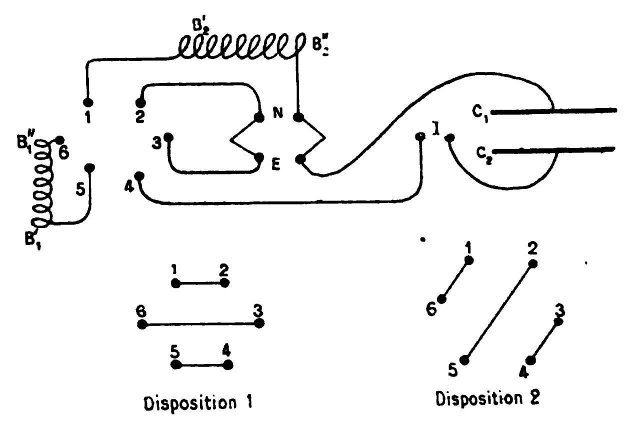


Fig. 3.

Supposons que l'on se donne une disposition expérimentale telle que, dans deux expériences successives, les excitateurs dérivés E et N forment dans l'expérience les extrémités B'_1 et B''_1, dans la seconde les extrémités B'_1 et B''_2.

En appliquant les considérations que l'on vient d'exposer pour la première méthode, on voit dès lors que : *si l'on maintient la distance explosive de l'excitateur* N *non éclairé constante, la distance explosive de l'excitateur éclairé augmente quand on passe de la première disposition expérimentale à la seconde.* C'est ce que montre l'expérience.

On réalise simplement ce changement de disposition expérimentale en réalisant le schéma de la *fig.* 3. On se sert d'un commutateur à trous formé de six petits tubes en U remplis de mercure, plantés en hexagone régulier sur un petit bloc de paraffine. On fait les connexions comme l'indique la figure. Si les pôles E et N forment les extrémités B'_1 et B''_1 d'une seule bobine (disposition 1), on fait communiquer par des points métalliques 1.2, 6.3, 5.4, comme l'indique la figure ; si E et N forment les extrémités B'_1 et B''_2 de deux bobines en série (disposition 2), on fait communiquer 1.6, 2.5, 3.4.

La proposition est donc vérifiée.

Nous examinerons maintenant quelques conséquences intéressantes de la proposition pour la détermination des distances critiques.

Examen d'une contradiction apparente. — Nous avons vu que, si l'étincelle dynamique éclate au *potentiel maximum*, la distance critique s'allonge comme une distance statique, c'est-à-dire *très faiblement*, d'une façon inappréciable dans l'éclairement par la lumière à arc sans condenseur. Cette proposition est en contradiction avec mon premier énoncé et semble l'être avec ce que l'on sait des recherches de Hertz, Sella et Majorana, et de tous ceux qui se sont occupés de l'action de rayons ultra-violets sur les potentiels explosifs; en effet, Hertz a découvert l'action de la lumière ultra-violette en montrant que la distance explosive critique d'un résonateur s'allonge sous l'influence de la lumière ultra-violette d'une fraction notable, $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{2}$, de la distance explosive dans l'obscurité, c'est-à-dire beaucoup plus que l'allongement d'une distance explosive statique, qui n'est que de $\frac{1}{20}$ environ pour de forts éclairements.

Cette contradiction n'est qu'apparente. En effet, dans l'expérience rapportée plus haut, que *l'excitateur soit éclairé ou non*, *l'étincelle éclate toujours pour le même potentiel*, le potentiel explosif correspondant à la distance critique de l'excitateur N ; l'allongement obtenu a un sens précis ; c'est l'accroissement de la distance explosive pour un même potentiel explosif. En est-il ainsi dans les expériences de Hertz et autres analogues ?

Notre proposition nous dit que :

III. *Si l'allongement de la distance critique sous l'action des rayons ultra-violets est supérieur à l'allongement statique, l'étincelle critique éclate pour une valeur de* $\frac{dV}{dt}$ *différente de zéro, par conséquent pour un potentiel inférieur au potentiel maximum.* L'expérience confirme cette proposition. Lorsque l'excitateur E, vivement éclairé, se décharge à sa distance critique, son potentiel explosif ne correspond pas à la distance critique de N, mais à une distance explosive *notablement plus petite*. On peut donner à N une valeur inférieure à sa distance critique sans que l'étincelle ne cesse d'éclater en E.

Reprenons l'expérience de la page 142, mais éclairons fortement l'excitateur dérivé E par l'étincelle principale.

La distance explosive de l'excitateur E, éclairé, étant la distance critique $3^{mm},10$, on trouve que, si $N = 2$ millimètres, l'étincelle dynamique éclate en N ; si $N = 2^{mm},25$, l'étincelle dynamique éclate en E.

La distance critique N étant égale à $3^{mm},6$, le potentiel explosif auquel l'étincelle critique éclate en E éclairé est donc notablement plus petit que si E n'était pas éclairé.

On constate le même fait dans toutes les expériences où l'éclairement du pôle se fait avec une intensité suffisante (lampe à arc avec condenseur, effluve ou étincelle voisine).

Application à la mesure des distances critiques. — Cette expérience présente une importance capitale pour la mesure de distances critiques ; elle montre d'abord que l'étincelle n'éclate pas au même potentiel explosif pour un excitateur éclairé ou non par une lumière ultra-violette intense. Les accroissements de distance critique, quand l'on mesure ainsi, n'ont aucun sens. La présence d'une étincelle simultanée ou d'un effluve voisin peut fausser complètement les mesures de distance critique et les conséquences que l'on en tire pour l'étude des décharges.

IV. *L'allongement de la distance explosive est une fonction paire de la vitesse de charge de l'excitateur.* — Nous avons vu jusqu'ici que la distance explosive d'un excitateur éclairé dépend de la vitesse de charge $\frac{dV}{dt}$, quand le potentiel allait en croissant ; mais en dépend-elle encore quand le potentiel décroît ?

L'expérience montre que le potentiel explosif s'abaisse encore lorsque la vitesse $\frac{dV}{dt}$ est négative ; on arrive ainsi à cette conséquence inattendue que, *pour décharger un excitateur éclairé par les rayons ultra-violets, chargé à un potentiel voisin de son potentiel explosif statique, il suffit de diminuer brusquement le potentiel.*

Cette conséquence singulière change un peu les idées reçues sur les potentiels explosifs ; car, si un excitateur n'est pas éclairé par la lumière ultra-violette, il faut, *dans tous les cas, augmenter son potentiel pour le décharger.*

Soit un excitateur I_1I_2, dont les pôles sont unis aux armatures d'un condensateur de grande capacité C_1C_2, chargé par une machine statique P_1P_2 à un potentiel voisin du potentiel explosif de I_1I_2 (*fig.* 4).

On diminue brusquement le potentiel en mettant en quantité avec le premier un autre, $\gamma_1\gamma_2$, notablement plus petit, par le contact des sphères de l'excitateur E_1E_2. Si l'excitateur est éclairé, il se décharge en ce moment, et l'abaissement de potentiel constaté est notablement

supérieur (5 à 6 fois) à l'amplitude de la variation du potentiel que l'on provoque aux pôles de l'excitateur.

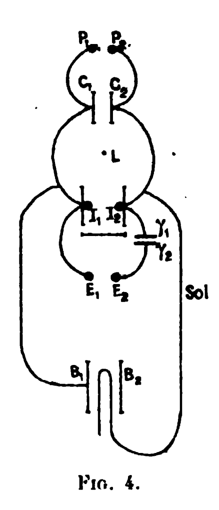


Fig. 4.

Cette proposition a été longuement démontrée dans ma thèse; je citerai simplement cette expérience : on prend un excitateur I à sphères de platine, une jarre C_1C_2 de 0,005 microfarad et un petit condensateur $\gamma_1\gamma_2$ de 0,00005 microfarad. La lumière d'une lampe à arc L de 8 ampères est concentrée par un condenseur en quartz sur les pôles de l'excitateur I. On mesure le potentiel à l'électromètre de MM. Bichat et Blondlot.

En le chargeant par une méthode statique, l'excitateur non éclairé se décharge pour 62 unités C. G. S. électrostatiques; pour le potentiel de 60,7 unités C. G. S. si l'excitateur est éclairé; enfin l'excitateur se décharge pour 54,5 C. G. S., s'il est éclairé et si on diminue brusquement son potentiel en joignant les armatures du petit condensateur au grand par l'excitateur E_1E_2.

Dans les expériences précédentes, on peut se demander si l'étincelle éclate, quand le potentiel baisse brusquement, ou plutôt lorsque le potentiel croît, par suite des oscillations qui se produisent dans le circuit de décharge. Mais, si on intercale dans le circuit de décharge un tube rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre, de façon à supprimer les oscillations, on constate encore l'abaissement du potentiel explosif de l'excitateur éclairé; mais l'abaissement est

notablement plus petit, deux à trois fois. L'abaissement du potentiel ou, ce qui revient au même, l'allongement de la distance explosive est bien une fonction paire de la vitesse de charge. Cette expérience réussit facilement. On pourrait peut-être en faire une expérience de cours en remplaçant l'électromètre par un trop-plein électrique réglable par un micromètre, et en munissant naturellement l'excitateur I d'écrans contre toute lumière ultra-violette d'effluves.

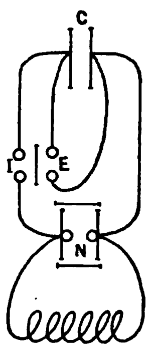


Fig. 5.

Pour démontrer cette proposition mieux encore, j'ai eu recours au dispositif suivant (*fig.* 5). Reprenons la méthode des excitateurs dérivés, telle que je l'ai décrite pages 140 et 141; plaçons l'excitateur E en face de I; unissons les armatures de C aux deux pôles de E, le pôle isolé de I étant uni à une armature, l'autre pôle de I uni à un pôle de N, l'autre pôle de N étant à l'extrémité B_2 de la bobine. Si les fils qui vont de E′ aux armatures ne sont pas enroulés et sont courts (quelques décimètres), la différence de potentiel entre les pôles de E′ sera, à *chaque instant de la décharge*, la même que celle qui existe entre les armatures de la jarre.

Cela posé, éloignons d'abord les pôles de N, pour qu'il n'y éclate pas d'étincelle dérivée; amenons les pôles de E à une distance explosive telle que le potentiel explosif statique de E surpasse légèrement le potentiel explosif statique de I.

Quand l'expérience est bien réglée, on constate que, si on place une lame de verre entre I et E, l'étincelle éclate toujours en I seul; mais, si on enlève la lame, la lumière de l'étincelle principale peut éclairer E′, et on observe une étincelle simultanément en E et I.

La lumière ultra-violette de l'étincelle principale est nécessaire

pour provoquer l'étincelle en E ; la décharge du condensateur est par conséquent commencée quand l'étincelle éclate en E ; donc le potentiel explosif dynamique de E est inférieur au potentiel explosif statique de I ; or ce dernier est inférieur au potentiel explosif statique de E. Il y a donc eu abaissement de potentiel explosif.

Il reste à démontrer que la décharge ne se produit pas en E pendant que le potentiel croît, dans une des oscillations successives de la décharge, mais au moment où le potentiel baisse.

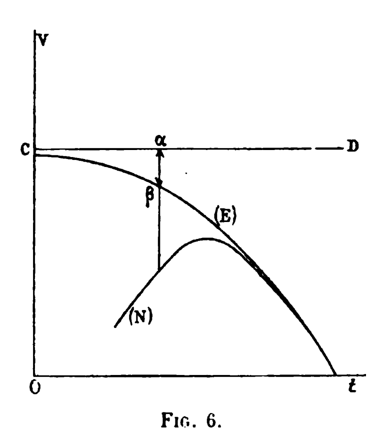


Fig. 6.

Pour le démontrer, nous nous servirons de l'excitateur dérivé N. Le potentiel aux pôles de E variera comme l'indique la courbe (E) obtenue en portant en abscisses les temps écoulés depuis l'origine de la décharge et en ordonnées les différences de potentiel aux bornes. Traçons la courbe de variation du potentiel aux bornes de N (*fig.* 6) et traçons-la sur les mêmes axes coordonnés et à la même échelle que celle qui est relative à E ; par suite de l'échauffement de la couche d'air de l'étincelle principale I, cette courbe (N) se confondra avec la courbe (E) après son maximum. Nous allons montrer que l'excitateur E se décharge avant que le potentiel ait atteint son premier maximum en N ; il suffira pour cela de faire voir que, lorsque E est éclairé et que les étincelles éclatent simultanément en I et E, on peut, sans faire éclater d'étincelle en N, donner à ce dernier une distance explosive plus petite que la distance critique. En effet, dans ce cas, le potentiel explosif correspondant à cette distance N est atteint avant le potentiel critique ; si donc l'étincelle en E se produisait après le premier maximum en N, l'étincelle en N l'aurait précédé et

on aurait dû observer, dans ce cas, des étincelles simultanées en I, N et E; il n'en est pas ainsi; donc l'étincelle en E s'est produite avant le premier maximum du potentiel en N, c'est-à-dire pendant que le potentiel baisse en E.

Les expériences suivantes démontrent tous ces faits.

Le condensateur C est une jarre de capacité $0^{mf},005$.

La bobine a 64 tours de fil isolé à la paraffine.

L'*excitateur principal* I a des pôles de $1^{m},67$ de diamètre en laiton

L'*excitateur* E, des pôles de platine de 1 centimètre de diamètre vissés sur isolant et munis d'écrans contre la lumière des effluves.

L'*excitateur* N est à pôles de laiton de 1 centimètre de diamètre, vissés sur isolant, munis d'écrans contre toute lumière ultra-violette.

I = 6 millimètres.

Observations	Numéros d'ordre des expériences	Distance explosive N en millimètres	Distance explosive E en millimètres	Excitateurs auxquels l'étincelle éclate
Ecran entre E et I...	1	6,2	6,8	E
»	2	»	7	I
On supprime l'écran.	3	»	»	IE
On remet l'écran....	4	»	»	I
On supprime l'écran.	5	4,75	»	IE
»	6	4,50	»	IN
»	7	6	7,5	IN

Les expériences (4) et (7) montrent que la distance critique N est comprise entre $6^{mm},20$ et 6 millimètres; les expériences (5) et (6), que, si E = 7 millimètres, l'étincelle éclate en E quand le potentiel de N atteint le potentiel explosif de N pour une distance explosive comprise entre $4^{mm},5$ et $4^{mm},75$. Cette donnée détermine l'instant θ de l'étincelle E. Si on représente le potentiel explosif statique de E = 7 millimètres par l'ordonnée de la parallèle CD à l'axe des temps, l'abaissement du potentiel explosif de E est représenté par le segment $\alpha\beta$ de la parallèle à l'axe des potentiels pour l'instant θ.

On peut répéter toutes ces expériences en éclairant les pôles E par un effluve ou une aigrette émise par une pointe électrisée par une machine électrostatique accessoire.

Interprétation de certaines expériences inexpliquées. — 1° *Expérience du débordement de la jarre de O. Lodge.* — Les expériences que nous venons de faire pour confirmer la proposition IV sont analogues aux expériences célèbres de M. Lodge sur le débordement du condensateur, *on the over flow of jar.* Les deux pôles

d'une petite machine électrostatique de Voss(¹) sont réunis aux armatures d'une petite bouteille de Leyde, l'une par un fil court, l'autre par un fil très long (*fig.* 7).

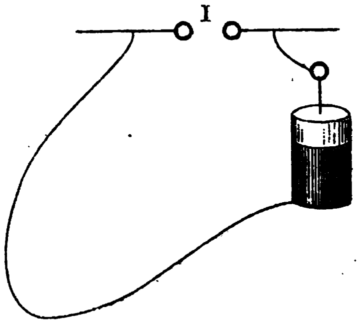


Fig. 7.

M. Lodge constate que, si la distance explosive I est suffisante, en même temps qu'une étincelle éclate en I, on constate qu'une très forte étincelle jaillit entre les armatures de la bouteille.

Les armatures de la bouteille peuvent être considérées comme les pôles de l'excitateur E de nos propres expériences; l'effet constaté par M. Lodge est donc le même que celui que nous avons produit; il serait dû à la lumière ultra-violette de l'étincelle en I et des effluves qui accompagnent la décharge, et l'effet d'induction et d'oscillation tout particulier invoqué par M. Lodge, tout en étant très problématique, serait de plus inutile.

2° *Expérience de Hertz.* — Hertz relate, dans les notes qui suivent son livre sur la propagation de la force électrique, une expérience curieuse [2].

Lorsqu'on éloigne les pôles d'une machine de Holtz, de façon à dépasser légèrement la distance qui provoque des étincelles, si on touche l'un des pôles isolés avec le doigt, une étincelle jaillit de nouveau entre eux.

Si on songe que la lumière de l'étincelle que l'on occasionne et

---

(1) O. Lodge, *Lightning conductors and Lightning guards.* (Wittaker and C°, London), p. 55.

(2) Hertz, *Untersuchungen über die Ausbreitung der elecktrischen Kraft*, p. 288.

les effluves extérieurs qui accompagnent toujours l'expérience éclairent les pôles de l'excitateur, le contact de la main provoque une baisse brusque de potentiel, et cette variation rapide suffit pour décharger l'excitateur.

3° *Expériences de Jaumann.* — Par des expériences bien connues sur la décharge[1], M. Jaumann crut avoir démontré que des variations très rapides de potentiel diminuent le potentiel explosif d'un excitateur; j'ai fait voir antérieurement[2] que la diminution de potentiel explosif observée par ce physicien était due à l'influence des radiations ultra-violettes, dont l'auteur ne se préoccupait point, et que les oscillations rapides de potentiel aux pôles de l'excitateur étaient insuffisantes pour provoquer, seules, le phénomène.

4° *Expériences de M. Warburg*[3]. — Pour expliquer l'action des rayons ultra-violets sur les potentiels explosifs, M. Warburg admet que ces radiations ont pour effet de diminuer le retard de décharge d'un excitateur. Or ce retard ne peut être manifesté nettement qu'avec des pôles ternis par les étincelles ou par des pôles de certains métaux, comme le fer; pour des pôles en laiton polis après chaque étincelle, le *retard n'existe pas*[4] ou du moins ne peut être constaté par l'expérience directe. L'explication de M. Warburg du rôle des rayons ultra-violets basée sur l'existence de ce retard est donc inadmissible. Aussi, pour interpréter les expériences de ce savant, qui sont *uniquement* des expériences d'*abaissement de potentiel explosif* (pareilles à celles de la page 146 de ce mémoire, dans lesquelles on réunirait les armatures de $\gamma_1\gamma_2$ aux deux pôles E_1, E_2, le condensateur $\gamma_1\gamma_2$ étant remplacé par un intervalle explosif), je supposais que la lumière ultra-violette agissait *seule* et provoquait le grand abaissement apparent de potentiel explosif constaté, grâce à la grande vitesse de variation du potentiel aux pôles de l'excitateur E_1E_2.

M. Warburg a montré depuis[5] que ses expériences s'expliquaient

---

(1) JAUMANN, *a. Einfluss rascher Potentialänderungen auf den Entladungsvorgang. Sitz. Ber. der Kön. Akad. zu Wien*, p. 765; juillet 1888; — *b. Zu den Bemerkungen den Hn. Swyngedauw über elektrische Entladungen. Wied. Ann.*, 1897, t. LXII, p. 396.

(2) SWYNGEDAUW, *a. Sur certaines expériences et propositions de M. Jaumann. L'Eclairage électrique*, 27 mars 1897; — *b.* Thèse, p. 34; — *L'Eclairage électrique*, 12 juin 1897; — *c. Sur la décharge par étincelle.* Réponse à M. Jaumann. *Eclairage électrique*, 19 février 1898; — *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 543.

(3) WARBURG. *Wied. Ann.*, t. LIX, p. 1, et t. LXII.

(4) Séance de la Société de Physique, juin 1900.

(5) *Drude's Annalen*, t. V, p. 818; 1901.

par l'oscillation du potentiel aux pôles de l'excitateur au-dessus du potentiel d'équilibre dans la décharge partielle du grand condensateur dans le petit.

J'ai constaté dernièrement(1) que ces oscillations se produisaient encore, lorsque la capacité du petit condensateur $\gamma_1\gamma_2$ tend vers zéro, mais leur amplitude tendait vers zéro et, de plus, l'action des radiations ultra-violettes facilite toujours la décharge.

Les expériences de M. Warburg trouvent donc leur explication dans les oscillations du système des deux condensateurs, et la décharge est favorisée par les rayons ultra-violets, conformément à mon interprétation, grâce à la grande vitesse de variation de potentiel dans la charge de l'excitateur E_1E_2.

Cette rectification étant faite, j'estime que les expériences de M. Warburg ne peuvent *infirmer* la proposition établie dans ce mémoire par des expériences qui échappent totalement aux critiques de ce physicien.

Conclusion. — La lumière ultra-violette(2) *allonge la distance explosive de l'excitateur qu'elle éclaire d'une quantité d'autant plus grande que la vitesse de charge de l'excitateur est plus rapide à l'instant où l'étincelle éclate.*

Cette proposition, établie sur des expériences directes, a permis d'interpréter un certain nombre d'expériences curieuses ou inexpliquées jusqu'à ce jour.

Appareil simple pour observer les phénomènes de diffraction et d'interférence ;

Par M. G. Foussereau (3).

L'appareil que nous allons décrire peut être construit avec les ressources des laboratoires les plus modestes, par les élèves eux-mêmes, et permet de leur montrer, sans réglage compliqué, les principaux phénomènes de diffraction et les franges d'interférence d'Young.

(1) Congrès A. F. A. S. Montauban, et *L'Eclairage électrique*, 6 septembre 1902.

(2) Nous avons démontré que les rayons de Röntgen ont un effet analogue aux rayons ultra-violets et produisent un abaissement beaucoup plus grand de potentiel dans les charges rapides (*C. R.*, 17 février 1896 ; thèse, p. 21).

(3) Séance du 5 décembre 1902.

On se procure deux tubes métalliques, chacun de 30 à 35 centimètres de diamètre, rentrant l'un dans l'autre à frottement doux.

A l'extrémité du tube le plus large, on dispose, à l'aide d'un bouchon de liège rentrant à frottement, une plaque métallique transversale dans laquelle on a pratiqué soit un petit trou central, soit une fente à bords amincis de $0^{cm},02$ à $0^{cm},08$ de largeur. C'est la source lumineuse qu'on peut éclairer, soit par le reflet d'un mur exposé au soleil, soit par un bec de gaz ou par toute autre lumière artificielle.

Dans le tube le plus étroit, on installe, à l'extrémité la plus éloignée de la source, un oculaire de microscope (n° 1 de préférence), et, à 6 à 30 centimètres de cet oculaire, l'écran qui doit donner lieu aux phénomènes de diffraction. Toutes ces pièces peuvent être montées sur des bouchons de liège. On dispose en outre, en plusieurs autres points des deux tubes, trois ou quatre bouchons percés qui servent de diaphragmes pour empêcher les réflexions intervenues sur les parois des tubes.

Avec un trou comme source et un second écran percé d'un très petit trou, on obtient une série d'anneaux, dont le centre est blanc ou noir suivant la distance de l'écran à l'oculaire.

Avec un verre extra-mince saupoudré légèrement de lycopode ou de limaille fine, on obtient les anneaux à centre toujours blanc que produisent les petits écrans représentés par les grains de lycopode.

Avec une fente comme source et une seconde fente comme objet, on observe, en dehors de la silhouette de la fente, une série de franges.

On peut aussi observer, au nombre de quatre ou cinq, les franges sombres produites, dans le champ lumineux, par le bord rectiligne d'un écran.

Avec un écran rectangulaire étroit, il se forme, dans l'ombre géométrique, une frange blanche occupant le milieu, et, deux ou trois autres franges, suivant la distance de l'oculaire ; enfin, en dehors de l'ombre, une autre série de franges. Le phénomène est particulièrement beau avec une pointe d'aiguille très fine.

Avec deux fentes étroites de $0^{cm},02$ parallèles, séparées par un intervalle de $0^{cm},08$ à $0^{cm},20$, on peut observer, entre les franges de diffractions particulières à chaque fente, les franges d'interférence d'Young, beaucoup plus fines que les premières.

Ces dernières franges prennent une grande netteté, une largeur sensible et des colorations vives, quand on constitue l'appareil avec deux tubes de 1 mètre de longueur chacun, le système des deux

fentes se trouvant placé à l'extrémité du tube le plus étroit, à 1 mètre de l'oculaire.

Le réglage de l'appareil est des plus simples ; il s'accomplit par le glissement et la rotation du tube étroit dans le tube large.

État actuel de la question de la convection électrique ;

Par M. V. Crémieu (1).

La question de l'existence de l'effet magnétique de la convection électrique semble loin d'être définitivement résolue par l'expérience.

Les expériences que j'ai faites à Paris, depuis la publication de ma thèse, confirment les résultats négatifs de mes expériences antérieures.

En revanche, des expériences faites à l'étranger par différents savants ont donné des résultats positifs.

Mais il y a quelque chose de plus. Au cours de mes recherches les plus récentes, j'ai, en effet, rencontré deux faits nouveaux qui me paraissent exiger une revision complète de la question.

En premier lieu, j'ai constaté des anomalies de la charge électrostatique que prennent des conducteurs isolés sur des diélectriques solides. Ces anomalies peuvent avoir entaché d'erreur les calculs du débit réalisé par convection dans les expériences anciennes.

En second lieu, j'ai trouvé qu'en dehors de l'effet hypothétique de la convection des charges, un système magnéto-astatique ou une bobine induite, contenus dans un écran électrique fermé, peuvent, dans des conditions que je précise ci-après, être soumis à des actions magnétiques particulières, capables de dévier fortement l'aiguille aimantée et même de la démagnétiser.

Le problème expérimental, déjà hérissé de difficultés sans nombre, se trouve donc encore compliqué.

Il faut d'abord étudier de plus près les deux faits nouveaux observés et en trouver les lois. Leur étude s'annonce comme longue et difficile.

Il ne semblera donc pas inutile, pour mettre la question au point,

---

(1) Séance du 5 décembre 1902.

de résumer l'état actuel des problèmes posés, en en dégageant les données fondamentales et les points délicats.

Voici d'abord un tableau historique des recherches relatives à la question. Pour abréger, je désignerai par effet direct l'effet magnétique de la convection électrique, et par effet d'induction, ses effets d'induction magnétique.

1. En 1876. Première expérience de Rowland [1], à Berlin, sur l'effet direct. Résultats positifs.
2. 1884. Expérience de Lecher [2] sur l'effet direct. Résultats négatifs.
3. 1889. Expérience d'Himsted [3] sur l'effet direct. Résultats positifs.
4. » Expérience de Rowland et Hutchinson [4] sur l'effet direct. Résultats positifs.
5. 1900. Expérience de Crémieu [5] sur l'effet d'induction. Résultats négatifs.
6. 1901. Répétition par Crémieu [6] des expériences de Rowland. Résultats négatifs, avec effets secondaires.
7. » Objections sur le rôle des écrans, faites par M. Potier [7], M. Pocklington [8] et M. Wilson [9].
8. » Expériences de Crémieu [10] sur l'effet direct, destinées à répondre à ces objections. Résultats négatifs avec effets secondaires.
9. » Expériences de Crémieu [11] sur les courants ouverts. Résultats négatifs pour l'effet direct.
10. » Expérience de Eichenwal [12] sur l'effet direct. Résultats positifs.
11. » Expérience de Pender [13] sur l'effet d'induction. Résultats positifs.
12. » Expérience d'Adams [14] sur l'effet direct. Résultats positifs.
13. 1902. Étude par Levi Civita [15] de la question théorique de l'effet direct et de l'effet d'induction.
14. » Réfutation par MM. Potier et Poincaré [16] de l'objection relative au rôle des écrans (n° 7).
15. » Expérience de Crémieu [17] sur l'effet direct. Découverte de deux faits nouveaux.

(1) *American Journal of Sciences*, vol. XV, p. 30; 1878.
(2) *Repertorium der Physik*, t. XX, p. 151; 1884.
(3) *Wied. Ann.*, t. XXXVIII, p. 560.
(4) *Phil. Mag.*, t. XXVII, p. 445.
(5) et (6) Thèse de Paris, 1901.
(7) *Éclairage électrique*, t. XXV, p. 352; 1900.
(8) *Phil. Mag.*, 6e série, t. I, p. 325; 1901.
(9) *Phil. Mag.*, 6e série, t. II, p. 144; 1901.
(10) et (11) Thèse, *loc. cit.*
(12) *Phys. Zeits.*, 2e année, p. 705.
(13) *Phil. Mag.*, 6e série, t. II, p. 179; 1901.
(14) *Phil. Mag.*, 6e série, t. II, p. 285; 1901.
(15) *Ann. de la Faculté des Sciences de Toulouse*, année 1901.
(16) *Éclairage électrique*, t. XXXI, p. 83; 1902.
(17) *C. R.*, t. CXXXV, p. 27; 1902.

Nos	Expérimentateurs.	Débit en C. G. S. électromagnétiques.	Ordre de grandeur du champ magnétique en C. G. S.	Déviations moyennes calculées à 2 mètres.	Déviation obtenue.	Observations.
1	Rowland. Effet direct.	10^{-6} calculé.	10^{-6}	8	8	Résultats longtemps discordants. Concordent à la fin seulement.
4	» »	2×10^{-6} calculé.	10^{-7}	6	6	Même observation.
5	Crémieu. Effet d'induction.	4×10^{-5} calculé.		20	2 à 3 millim.	Résultats négatifs dès le début. Sens des déviations obtenues sans accord avec celui attendu.
6	» Effet direct.	4×10^{-5} calculé.	4×10^{-5}	35	6 à 14	Résultats constamment les mêmes. Effets obtenus mal expliqués.
8	» »	» »	»	»	Rien de net.	Découverte d'effets électrostatiques. Impulsions magnétiques bizarres, mal expliquées.
9	» Courants ouverts.	2×10^{-5} mesuré.	2×10^{-5}	8	Nulles.	Expériences très nettes. Effets constamment nuls.
11	Pender. Effet d'induction.	5×10^{-6} calculé.		55	55	Expériences d'abord peu nettes. Très nettes dans de nombreuses séries de la fin.
12	Adams. Effet direct.	2×10^{-6} calculé.	2×10^{-6}		-6 à $+19$	Expériences douteuses. Sens des déviations souvent en désaccord.
15	Crémieu. Effet direct.	2×10^{-6} mesuré.	2×10^{-6}			Aucun rapport entre les débits mesurés, le sens et la grandeur des déviations obtenues. Découverte des effets nouveaux.

Avant d'entreprendre une critique résumée de cet ensemble d'expériences, une remarque de fait nous permettra d'éliminer *a priori* un certain nombre d'entre elles.

Une expérience de convection consiste à entraîner, sur un conducteur animé d'un mouvement rapide, une charge électrostatique aussi grande que possible, et à voir si elle produit des effets sur un système magnétique placé au voisinage.

Pour pouvoir attribuer aux résultats obtenus leur valeur réelle, il faut, d'une part, connaître la valeur des charges entraînées, et, d'autre part, la sensibilité des appareils de mesure. Il faut, de plus, que le champ magnétique attendu de la convection réalisée soit assez grand pour être mesuré.

Or M. Lecher n'a pas publié les constantes de ses expériences, et nous ignorons les débits qu'il réalisait, aussi bien que la sensibilité de ses systèmes astatiques. Il en est de même pour M. Himstedt. Nous n'avons donc pas à nous occuper des numéros 2 et 3.

D'autre part, M. Eichenwald a réalisé des débits calculés de l'ordre de 10^{-6} ampères, correspondant à des champs magnétiques de l'ordre de 10^{-7} C. G. S. L'expérience apprend que de pareils champs échappent encore à nos procédés d'investigation les plus sensibles. Nous éliminerons donc encore le numéro 10.

Pour nous faire une idée de la valeur relative des autres résultats, nous avons fait, dans le tableau de la page 157, un résumé des données quantitatives de chaque expérience.

Il ne semble pas qu'on puisse tirer une conclusion définitive de cet ensemble. A première vue, les résultats des deux espèces se balancent à peu près; les séries 1 et 4 positives compensent les négatives 6 et 8, pour l'effet direct; et les résultats positifs 11 compensent les négatifs 5, pour l'effet d'induction.

Il serait sans doute illusoire d'essayer d'attribuer un poids aux diverses séries. Si, dans cet ordre d'idées, l'accord quantitatif du champ magnétique, calculé et observé, semble donner un grand poids à certaines expériences, il suffit, pour en mettre en doute la conclusion, que toutes les circonstances n'en aient pas été assez précisées pour qu'on puisse les reproduire avec certitude.

Quand on étudie les mémoires originaux, on est frappé par le fait suivant : tous les expérimentateurs qui ont obtenu des effets positifs s'accordant comme grandeur avec les effets calculés ont observé d'abord des effets qualitatifs présentant des divergences considé-

rables avec les mêmes calculs. Ce n'est qu'après de longs efforts qu'ils sont arrivés à la concordance désirée. Ils ont alors, sans plus rien changer aux conditions de leurs expériences, effectué un assez grand nombre de séries sur les moyennes desquelles ils appuient leurs conclusions.

Parmi les expériences à résultats négatifs que j'ai faites, il y en a eu plusieurs qui ont donné, à certains moments, des résultats qualitativement et quantitativement positifs. Mais ces résultats ne se reproduisaient pas dès qu'on faisait varier certaines conditions expérimentales.

Par exemple, des déviations magnétiques d'accord avec les effets calculés étaient observées au niveau d'un certain rayon du disque tournant. La loi de variation de ces déviations avec le rayon étant connue, on constatait que le système magnétique, déplacé le long d'un rayon, n'obéissait en aucune façon à cette loi.

Ou encore, dans d'autres expériences, des déviations concordantes, étant obtenues pour une certaine vitesse de rotation du disque, auraient dû rester proportionnelles à cette vitesse. Or on constatait qu'elles en étaient entièrement indépendantes, et restaient constantes quand la vitesse variait du simple au triple.

Il est donc permis de se demander ce que seraient devenus les effets observés par Rowland, M. Pender et M. Adams s'ils avaient fait des vérifications analogues. Du reste, leurs appareils n'étaient pas disposés de manière à les leur permettre, du moins en ce qui concerne la loi de variation du champ magnétique le long du rayon des disques tournants.

Ajoutons à cela que les mêmes expérimentateurs ont, le plus souvent (séries 1, 4, 12), observé, au début, des résultats assez divergents pour des causes très incomplètement expliquées, et qu'il conviendrait de tirer définitivement au clair.

Il est donc à souhaiter que des expériences positives et négatives soient répétées contradictoirement par leurs auteurs. Si l'on ne parvenait ainsi à trancher le différend, les conditions générales du problème se trouveraient du moins singulièrement précisées.

CONDITIONS FONDAMENTALES D'UNE EXPÉRIENCE DE CONVECTION CORRECTE.

Nous allons essayer d'étudier les conditions théoriques d'une expérience de convection électrique parfaitement correcte. La discussion de ces conditions nous amènera à résumer les critiques auxquelles les expériences faites ont donné lieu, et, en même temps, à préciser les questions délicates qui se posent pour les expériences à venir.

Par définition, *la convection électrique est le transport d'une charge électrostatique par son support pondérable.* L'espace traversé par ce support sera balayé par les lignes de force dues à sa charge.

Dans les idées actuelles, ce balayage donnera naissance à un champ magnétique, qui, en chaque point, sera perpendiculaire à la force électrique et proportionnel à la variation de cette force, par conséquent à la quantité d'électricité qui traversera, par seconde, un plan perpendiculaire à la trajectoire de la convection et passant par le point considéré.

Mais nous savons qu'une charge électrique n'existe jamais seule. Il y a toujours quelque part une charge égale et de sens contraire.

Si on produit la convection d'une charge, il est à craindre qu'on ne produise en même temps la convection de la charge inverse ; et cette seconde convection aurait des effets magnétiques de sens contraire à ceux de la première.

D'autre part, on sait combien il est difficile de conserver sur un corps quelconque l'intégralité d'une charge électrostatique ; quelles que soient les précautions prises, il y a toujours ce qu'on appelle des « pertes ».

Bien que les phénomènes qui accompagnent ces pertes soient encore mal connus, les théories actuelles semblent exiger que ces pertes s'accompagnent de la production d'un champ magnétique.

Il y a donc nécessité absolue à limiter les pertes, et surtout à en connaître la valeur, pour pouvoir affirmer que le champ magnétique qui en résulte est négligeable par rapport à celui que l'on attend de la convection électrique.

On peut donc ramener les conditions fondamentales d'une expérience de convection correcte aux trois suivantes :

1° *Il faut avoir la certitude qu'on entraine une charge ;*

2° *Que cette charge seule peut agir sur les appareils destinés à déceler les effets magnétiques attribués à sa convection ;*

3° *Que, pendant le transport, la charge n'a subi que des pertes limitées à une faible fraction de sa valeur absolue.*

DISCUSSION DES CONDITIONS PRÉCÉDENTES.

1° *Entrainement de la charge.* — Pour pouvoir communiquer aux supports mobiles de l'électricité statique une charge appréciable, on les a entourés, dans la plupart des expériences, d'armatures conductrices fixes reliées au sol, de manière à augmenter la capacité de ces supports.

D'ailleurs, par la force des choses, ces supports sont toujours de révolution. Il faut alors distinguer plusieurs cas.

En premier lieu, le support mobile, qui est toujours isolé de l'axe, peut être un disque uniformément conducteur, et se mouvoir dans son propre plan. C'est le cas de nombreuses séries faites par Rowland, Rowland et Hutchinson, Pender et Crémieu. Les charges sont distribuées à la surface du disque mobile et de ses armatures fixes. Le disque entraîne-t-il sa charge avec lui?

S'il l'entraîne, la charge inverse, induite sur les armatures, suivra-t-elle le mouvement de la charge inductrice?

On sait que la couche d'air immédiatement voisine d'un solide lui est complètement adhérente et se déplace avec lui. Dans les conceptions de la théorie des fluides électriques, ces fluides se trouvent collés à la surface même des conducteurs chargés; dans cette théorie, par conséquent, on sera porté à affirmer que le disque mobile entraîne sa charge, puisqu'il entraîne la couche d'air qui le touche, tandis que la charge des armatures fixes reste immobile avec la couche d'air qui couvre ces armatures.

Mais, dans les idées de Faraday, idées directrices de toutes les théories actuelles, l'existence des deux charges inverses du disque et de ses armatures correspond à un état de contrainte du milieu diélectrique, caractérisé, à l'état statique, par des lignes de force inséparablement liées à ces charges, partant normalement d'un conducteur pour aboutir normalement à l'autre. Comment le mouvement du conducteur mobile fait-il varier l'état de contrainte du milieu, et que deviennent les lignes de force? On peut dire que ce problème n'a pas été traité, et il y a là une question à laquelle il semble impossible de répondre *a priori*.

Il est bon d'ajouter que les expériences faites dans ces conditions,

pour chacune des séries 1, 4 et 11 (p. 156), ont donné des résultats positifs pour l'effet magnétique, tandis qu'ils étaient négatifs pour les expériences analogues des séries 5.

Pour tourner expérimentalement cette première difficulté, plusieurs artifices ont été employés.

En premier lieu, on a divisé la couche dorée qui recouvrait les disques tournants diélectriques, par des traits radiaux, en laissant cependant les différents secteurs, ainsi tracés, reliés entre eux par une couronne circulaire étroite. Les armatures fixes étaient disposées de la même manière.

Rowland et Pender, qui ont fait cette modification, ont observé qu'elle ne changeait en rien leurs résultats relatifs à l'effet magnétique, qui ne s'en trouvait pas altéré. Ils ont conclu que cet effet magnétique n'était pas dû à des courants de conduction produits dans les disques mobiles ou leurs armatures, et que, par conséquent, il était dû à la convection elle-même. Nous verrons, par la suite, que cet argument n'est pas sans réplique.

Un second procédé consiste à diviser la dorure en secteurs entièrement isolés les uns des autres, se chargeant séparément en un point de leur course, et, d'autre part, à constituer les armatures fixes par des secteurs isolés aussi les uns des autres, et séparément reliés au sol par des fils disposés de façon que les courants qui peuvent y circuler ne puissent pas agir sur les appareils de mesures magnétiques.

Une partie des expériences des séries 5, 6 et 8 ont été faites dans ces conditions et ont donné des résultats négatifs en ce qui concerne l'existence de l'effet magnétique.

Dans ces différents cas, il est bon de signaler qu'on *admettait a priori*, au moment des expériences, que la charge du disque était seule entraînée, et par conséquent agissait seule sur les appareils de mesure.

On connaît les articles publiés successivement sur ce sujet par MM. Pocklington, Potier, Wilson, Levi Civita, et la correspondance de MM. Potier et Poincaré, dont la publication semble avoir terminé le débat.

Les conclusions sont que la présence d'armatures fixes, disposées suivant les différentes façons énumérées, et interposées entre les disques mobiles et les appareils de mesure, ne peut pas suffire à supprimer sur ces appareils les effets magnétiques de la convection, s'ils existent.

Il est du reste assez remarquable que les objections, qui s'étaient produites très nombreuses pour expliquer des résultats négatifs autrement que par la non-existence des effets magnétiques de la convection, s'appliquaient avec autant de force aux expériences à résultats positifs, et que, si ces objections avaient été fondées, ces résultats positifs se seraient trouvés du même coup suspects.

Un troisième procédé, employé par M. Adams (série n° 12), demeure en dehors de ces discussions. Cet expérimentateur s'est servi de deux séries de seize sphères métalliques, chacune montée sur des tiges métalliques disposées radialement autour de deux noyaux d'ébonite tournant autour du même axe. Les centres de ces sphères se trouvaient ainsi dans deux plans verticaux parallèles entre eux et, d'ailleurs, les sphères étaient deux à deux en regard. Chacune des séries de sphères était reliée, d'une façon permanente, à l'un des pôles d'une pile de charge à 18.000 volts. Les deux séries de sphères étaient entraînées dans un même mouvement de rotation.

Le système astatique, destiné à la mesure des effets magnétiques, était placé dans le plan de l'une des séries de sphères, au voisinage immédiat de l'extrémité supérieure du diamètre vertical de la circonférence décrite par elles dans leur mouvement.

Ici il paraît bien certain que les sphères entraînaient leurs charges; d'ailleurs ces charges, presque complètement concentrées entre les calottes en regard des deux séries de sphères, ne pouvaient pas donner lieu à des entraînements de charges secondaires appréciables, sur les parois fixes de la boîte où le système était enfermé.

En moyenne, les résultats ont été positifs, c'est-à-dire en faveur de l'existence de l'effet magnétique. Toutefois, ils ont été assez irréguliers; les divergences, nombreuses et graves, n'ont pas été expliquées, et l'auteur déclare lui-même que ses conclusions ne constituent qu'une grossière (*rough*) approximation.

Un quatrième procédé consiste à séparer la dorure des disques mobiles en secteurs isolés les uns des autres et à supprimer toute armature fixe; ou encore à employer un support mobile analogue à l'une des séries de sphères de M. Adams, en supprimant aussi toute armature fixe.

Seulement, pour pouvoir communiquer à ces secteurs ou conducteurs des charges suffisantes, il faut employer des artifices assez compliqués, et, d'autre part, les pertes par l'air deviennent beaucoup plus considérables. On est alors amené à diminuer les débits.

Les séries 9 et 15 ont été faites dans ces conditions. Les charges entraînées étaient directement mesurées.

La série 9 est une de celles dont les résultats ont été les plus franchement négatifs en ce qui concerne l'existence de l'effet magnétique. Il n'y a pas eu d'effets secondaires, et les seules anomalies ont porté sur la divergence entre les débits observés et ceux que le calcul, basé sur la capacité géométrique des secteurs mobiles, faisait prévoir.

Quant aux résultats de la série 15, les conclusions qu'on en peut tirer pour l'effet magnétique sont assez incertaines. Elles permettent seulement d'affirmer que les expériences de convection se compliquent de phénomènes qui, pour le moment, nous échappent à peu près complètement.

En résumé, on voit que, malgré des essais très variés, la question de l'entraînement de la charge ne peut être considérée comme close.

La série 15, qui, *a priori*, semblait échapper à toute objection, a amené l'observation d'anomalies qui semblent dues à des pénétrations très importantes de charges dans les diélectriques qui isolent les conducteurs mobiles. Ces charges sont entraînées, elles aussi, plus sûrement même que celles portées par les conducteurs, amenant dans l'expérience les perturbations les plus graves. Avant tout, il paraît donc nécessaire d'élucider complètement ces phénomènes de pénétration.

2° *Actions secondaires pouvant agir sur les appareils de mesure.* — On se trouve dans la nécessité de soustraire les appareils de mesure aux effets électrostatiques des charges considérables des corps mobiles, en enfermant ces appareils dans des écrans électriques reliés au sol. Il est permis d'affirmer que ces écrans électriques ne peuvent troubler l'effet magnétique attendu de la convection.

D'autre part, avant les résultats de la série 15, on était autorisé à croire que les mêmes écrans suffisaient à arrêter tous les effets autres que ceux d'un champ magnétique continu ou de ses variations de fréquence faible par rapport à la période d'oscillation des appareils de mesure.

C'est dans ces idées que tous les expérimentateurs ont monté leurs appareils, et, lorsqu'ils ont obtenu, dès l'abord, des effets analogues à ceux qu'ils attendaient de la convection, mais trop grands ou trop petits, ils les ont attribués à des conductions parasites, qu'ils se sont efforcés de faire disparaître. La lecture de l'un quelconque

des mémoires publiés sur la convection est tout à fait convaincante à cet égard.

De même, lorsque j'ai obtenu, au milieu de résultats négatifs, des effets nettement magnétiques, qualitatifs et quelquefois même de grandeur concordante avec le calcul (je n'ai pas à parler ici des cas où les effets observés ont pu être attribués à des causes électrostatiques), j'en ai toujours attribué la cause à des conductions parasites.

A plusieurs reprises, des déviations ou des impulsions avaient en effet pour cause soit des pertes par conduction métallique, soit des aigrettes.

Mais, dans certains cas, il n'y avait aucune conduction de ce genre, et j'obtenais cependant des déviations magnétiques, il est vrai, toutes différentes de celles attendues de la convection. Je les ai attribuées à des conductions survenues dans les armatures fixes. Mais l'explication est tout à fait insuffisante.

Les caractéristiques de ces déviations étaient les suivantes [1] :

1° Elles se produisaient lorsque des armatures fixes formées de plateaux diélectriques recouverts de papier d'étain étaient interposées entre le disque mobile et les systèmes astatiques enfermés dans leur écran protecteur;

2° Bien qu'assez irrégulières, elles semblaient pourtant dépendre de la position relative de l'écran des systèmes astatiques et des secteurs d'étain collés sur des plateaux fixes;

3° Elles disparaissaient complètement dès qu'on mettait, entre cet écran et les armatures fixes, une lame conductrice large reliée au sol.

On verra plus loin que ces caractères les rapprochent assez nettement des déviations obtenues au voisinage de nœuds d'oscillations électriques.

Les unes et les autres sont, d'ailleurs, inexplicables pour le moment; tout ce qu'on peut en dire, c'est qu'elles n'obéissent pas du tout aux lois que devraient suivre les effets magnétiques de la convection électrique.

Mais la série 15 a mis au jour un fait nouveau qui, une fois bien élucidé, permettra peut-être de faire la lumière sur ces points obscurs.

Voici en quoi consiste ce phénomène :

Imaginons une lame métallique L, reliée à l'extrémité d'un

---

(1) Voir Crémieu, Thèse de Paris, p. 102 et suiv.

conducteur C sans self-induction et de faible résistance, dont l'autre extrémité est au sol. Plaçons au-dessus de la lame L, supposée horizontale, un système astatique enfermé dans un écran électrique. Si nous venons alors à décharger un condensateur en un point du conducteur C intermédiaire entre L et le sol, le système magnétique placé au-dessus de L recevra une violente impulsion, suivie d'un changement de zéro très notable qui dénote une véritable démagnétisation des aiguilles aimantées.

Avec des systèmes très sensibles, les impulsions ont provoqué plusieurs tours complets, et le zéro a varié de 180°.

Si la lame L est placée verticalement, en avant ou en arrière du système astatique, celui-ci reçoit des impulsions d'un caractère différent. Le système astatique se comporte comme s'il recevait un choc latéral ; on ne constate d'ailleurs pas de changement de zéro dans ce second cas.

Si l'on décharge le condensateur sur la ligne C à travers une forte résistance liquide, tous ces phénomènes disparaissent. Ils disparaissent encore si l'on interpose un très large écran électrique, relié au sol, entre la lame et l'écran électrique qui contient le système astatique. Au contraire, un écran de faibles dimensions par rapport à L, et relié au sol, ou un large écran isolé, sont sans action appréciable.

Enfin, si l'on relie la lame L à un deuxième fil dont l'autre extrémité soit isolée et loin de L, le système astatique ne reçoit plus aucune impulsion. Ce dernier fait semble bien démontrer que la lame L doit se trouver à un nœud de vibration pour produire les effets décrits.

Il semble donc bien que ces phénomènes présentent un caractère hertzien. Mais leur action sur des aimants permanents, protégés par un écran électrique fermé, paraît, pour le moment, bien difficile à expliquer.

Il semble cependant qu'on puisse déjà en tirer une conclusion relative aux expériences de convection électrique.

Dans toutes ces expériences, on charge et décharge brusquement des corps en mouvement ; ces mouvements eux-mêmes s'accompagnent de variations assez brusques dans la distribution électrique. Il est vraisemblable que ces variations et ces décharges donnent lieu à des phénomènes de l'ordre de celui que je viens de décrire, et ceux-ci pourront agir sur les systèmes magnétiques ou les bobines induites placées au voisinage, même à l'intérieur d'écrans électriques.

En résumé, il est impossible de dire quel rôle des phénomènes de ce genre ont pu jouer dans les expériences de convection antérieures à celles-ci.

3° *Pertes subies par la charge pendant sa convection.* — On sait toute l'importance que ces pertes peuvent avoir et combien il est nécessaire de les éviter.

Dans beaucoup de séries, on s'est borné à vérifier électroscopiquement ou électrométriquement que l'isolement des supports mobiles était suffisant.

Il y aurait beaucoup à dire sur la valeur des différentes vérifications effectuées. Mais cette discussion est rendue inutile par suite de la mise au jour des anomalies de charge présentées par des conducteurs isolés sur des diélectriques solides, anomalies que je vais rapidement décrire.

Une fois qu'on s'était assuré d'un isolement aussi parfait que possible des appareils, il était évident que la meilleure vérification à faire au sujet des pertes consistait à les mesurer.

C'est pour cela, et aussi pour répondre à une objection de M. Pender, que j'avais entrepris les expériences de la série n° 15.

Dans ces expériences, des secteurs de micanite mobiles, dorés sur les deux faces, se chargeaient par influence entre deux secteurs fixes, et l'on pouvait mesurer la charge prise, puis abandonnée par eux. En faisant des séries de mesures, quand on charge les secteurs fixes successivement dans le sens positif et négatif, on a observé que les débits mesurés sont constamment plus forts quand les secteurs mobiles sont chargés positivement que lorsque leur charge est négative.

Dans certaines séries, les secteurs de micanite étaient entièrement dorés; ils étaient isolés les uns des autres par l'air et le disque d'ébonite sur lequel ils sont fixés. La dissymétrie entre les débits des deux signes atteint alors 25 à 30 0/0 en faveur des charges positives.

Dans d'autres séries, les secteurs de micanite étaient dorés sur 5 centimètres de large ; l'isolement était dû à la micanite même, à l'ébonite et à l'air. La dissymétrie était alors de 75 à 100 0/0 en faveur des charges positives.

Enfin, dans certaines conditions, qui n'ont pu être encore exactement précisées, la dorure, après avoir été chargée positivement pendant un certain temps, refuse complètement de se charger négativement; les débits négatifs deviennent nuls.

Ces phénomènes, qui paraissent dus à la pénétration des charges, se produisent dès les premières mesures effectuées même avec des diélectriques neufs. Ils paraissent ne se produire qu'à partir de certains voltages, 4.000 volts pour la micanite, beaucoup plus pour l'ébonite.

Lorsqu'on fait des séries de mesures en élevant graduellement le potentiel de charge, les dissymétries sont toujours en faveur des charges positives; mais, si l'on vient à diminuer ensuite les potentiels, on constate que les dissymétries sont en faveur des charges négatives et du même ordre de grandeur.

L'étude de ces faits est rendue extrêmement difficile, parce que les phénomènes dépendent en partie de l'état initial des diélectriques, qu'il est impossible de connaître.

Les chiffres suivants, pris dans une série assez longue, donneront une idée plus exacte de ces phénomènes. La vitesse de rotation est la même pour toutes les mesures ci-dessous. Le disque portait des secteurs entièrement dorés, n'ayant pas servi depuis quarante-huit heures. Enfin, les mesures successives ont été faites à des intervalles de cinq minutes environ.

Nos des lectures	Voltage des inducteurs fixes	Déviation du galvanomètre de mesure		Dissymétrie
		Charge positive	Charge négative	
1	8000	+ 72 mm.	— 72 mm.	0
2	»	+ 87	— 47	40 mm. pour la charge +
3	»	+ 87	— 50	37 » »
4	»	+ 84	— 66	18 » »
...	...	....	....	....
8	»	+ 81	— 63	18 » »
...	...	....	....	....
12	6000	+ 39	— 52	13 pour la charge —
13	4000	+ 19	— 39	20 » »
14	2000	0	— 23	23 » »
...	...	....	....	....

Il faut ajouter que, dans les séries croissantes ou décroissantes, on observe toujours le fait suivant : on peut calculer assez exactement d'après la capacité géométrique des secteurs mobiles dorés placés entre les secteurs inducteurs fixes, et d'après la vitesse de rotation du disque, le débit qu'on doit avoir pour chaque voltage. Or on constate que les débits mesurés concordent à peu près avec ceux calculés à partir de 2000 volts jusque vers 4000. Au delà, les débits observés deviennent 1,5 à 3 fois plus considérables que ceux calculés suivant qu'on a comme isolant de l'ébonite ou du mica.

Le nombre d'observations concordantes de ce phénomène est très considérable, et je n'ai constaté aucune exception.

Mais les lois exactes du phénomène sont tout à fait inconnues pour le moment. Une étude méthodique en est entreprise.

En résumé, sur la troisième condition fondamentale, nous ne sommes pas beaucoup plus avancés que sur les deux premières.

Non seulement nous ne savons pas exactement quelles pertes pouvaient se produire par conduction dans les expériences anciennes, et quel était leur rôle, mais nous ne pouvons plus dire ce que devenait l'électricité confiée à nos supports isolés mobiles.

Pour terminer, je donnerai quelques chiffres relatifs à la série 15, après avoir rappelé brièvement dans quelles conditions elle a été faite.

M. Pender (1) avait fait, à mes expériences sur la convection électrique, l'objection suivante : les disques dont je me servais étaient, dans la plupart des cas, recouverts de couches diélectriques destinées à éviter les étincelles ; M. Pender pense que ces couches devaient entraîner des charges égales et de sens contraire à celles communiquées aux disques tournants.

Pour répondre à cette objection, j'ai monté l'appareil suivant :

Un disque circulaire d'ébonite, de 6 millimètres d'épaisseur, 24 centimètres de diamètre, porte, fixées sur sa périphérie, dix-huit secteurs en micanite de 1 millimètre d'épaisseur, séparés les uns des autres par 2 centimètres d'air et parfaitement isolés sur l'ébonite. Le tout forme une sorte de roue à ailettes planes, d'un diamètre total égal à 50 centimètres et qui tourne dans un plan horizontal.

Les secteurs de micanite sont dorés, sur leurs deux faces, sur une largeur de 5 centimètres à partir de la périphérie.

En un point de leur circonférence, ces secteurs viennent passer entre deux secteurs métalliques fixes, reliés à une source électrique ; en même temps, ils touchent un balai A, relié au sol, et se chargent par influence.

Ils quittent ensuite les secteurs fixes et tournent à l'air libre. Après trois quarts de tour, ils rencontrent un balai B, relié au sol, sur lequel ils se déchargent. Un galvanomètre interposé entre A ou

(1) *Phil. Mag.*, août 1901, p. 179.

B et le sol permet de mesurer les charges prises et abandonnées par les secteurs.

Les secteurs mobiles chargés viennent défiler à 8 millimètres en dessous d'un système astatique très sensible protégé par un tube de verre recouvert de papier d'étain relié au sol.

A 8 millimètres en dessous et parallèlement au plan des secteurs, on a placé une nappe conductrice témoin, dans laquelle on peut envoyer les charges appelées en A ou récoltées en B, ce qui permet de comparer l'action de la même quantité d'électricité agissant par convection et par conduction.

Pour qu'on puisse renverser le sens de la rotation du disque en faisant toujours passer sous le système astatique des secteurs chargés, le balai B peut être fixé dans deux positions différentes, symétriques par rapport au diamètre passant par A.

On peut ainsi faire, dans les deux sens, des courants ouverts. Si l'on supprime le balai B, on réalise la rotation continue d'une charge permanente, ou forme Rowland-Maxwell.

Cette méthode a l'inconvénient de ne permettre de réaliser que des débits relativement petits par rapport à ceux que l'on *calcule* dans le cas de disques tournant entre des armatures fixes reliées au sol.

Les débits maxima *mesurés* ont été de $\frac{1}{20.000}$ de coulomb par seconde, qui auraient dû produire, dans la position la plus favorable, une force magnétique de l'ordre de 5×10^{-6} C. G. S.

Le système astatique est formé de deux groupes composés chacun de sept aimants cylindriques de 16 millimètres de long, fixés à $0^m,10$ l'un de l'autre, sur une lame de mica doré.

Moment magnétique M de chaque groupe...............	20 C. G. S.
Période d'oscillation dans l'air t_1........................	$0^s,8$
Période d'oscillation du système complet dans l'air t_2....	10^s
Rapport $\frac{K}{M}$ (K, moment d'inertie) de chaque groupe......	0,0015
Coefficient de réduction $\frac{t_1^2}{t_2^2}$	0,0064

On voit que le couple maximum agissant sur le système aurait été de 10^{-4} environ.

Grâce au concours de M. Jean Javal, j'ai pu faire de nombreuses séries d'expériences. On ne peut opérer qu'après que la circulation

des voitures a cessé, c'est-à-dire de une heure à cinq heures du matin.

On observait simultanément le galvanomètre de mesure des débits et le système astatique.

Les résultats sont les suivants :

Le système astatique reçoit, *en général*, au moment de la charge ou de la décharge des secteurs mobiles, des impulsions qui sont *le plus souvent* dans le sens prévu pour l'effet magnétique de la convection.

Souvent aussi ces impulsions sont suivies de déviations permanentes dans le sens prévu.

Très nettes au début d'une série, les déviations et impulsions vont toujours en diminuant et finissent par s'annuler, sans que les débits mesurés présentent des variations correspondantes.

Il n'existe aucun rapport entre la grandeur des déviations du système astatique et celle des débits mesurés.

Le maximum de déviation permanente obtenu a été de 6 millimètres ; la moyenne générale est un peu inférieure à 2 millimètres.

En envoyant, dans un sens convenable, le débit des balais dans la nappe témoin, on soumet le système astatique à la résultante des actions en sens inverse du disque et de la nappe. Les effets du disque étant indépendants des débits, on obtient alors des déviations dans le sens du disque si le débit est faible, en sens inverse s'il est fort.

Les valeurs de v calculées d'après les déviations obtenues peuvent, par suite, être nulles, négatives ou infinies ; dans certains cas, elles concordent même avec la valeur théorique.

Les effets obtenus sont les mêmes, que l'on supprime ou non le balai B.

Leur grandeur ne varie pas tant que le système astatique est au-dessus de la dorure chargée, quelle que soit sa position relativement à l'axe de rotation. Ils s'annulent dès que le fond de l'écran électrique qui protège le système n'est plus au-dessus de la dorure.

Si l'on change le sens de rotation du disque sans déplacer le balai B, les secteurs mobiles ne sont plus chargés en passant sous le système astatique ; cependant, les déviations conservent quelquefois leur grandeur ; mais leur sens est changé.

Les chiffres suivants, empruntés à des séries très nettes, faites pendant des heures de tranquillité parfaite, donneront une idée plus complète des faits observés.

1° *Lectures à 9.000 volts, 30 tours par seconde au début d'une série.*

Nos des lectures	Signe de la charge	Déviation du galvanomètre	Déviation du système astatique
1	—	25 mm.	5 mm. (à droite ou +)
2	sol.		4 (à gauche ou —)
3	—	25	+ 5
4	sol.		— 5
5	—	23	+ 4
6	sol.		— 3
7	—	24	+ 2
8	sol.		— 3
9	—	20	+ 5
10	sol.		— 5
11	—	20	+ 6
12	sol		— 4

2° *Lectures à 9.000 volts, 30 tours par seconde, mais au milieu d'une série.*

1	+	26	— 3
2	+	23	— 1
3	+	23	0
4	+	23	— 4
5	+	23	0

3° *Lectures à 9.000 volts, 34 tours par seconde à la fin d'une série.*

1	+	+ 32	0
2	—	— 7	0
3	+	+ 29	— 3
4	—	— 7	+ 5
5	+	+ 28	— 4
6	—	— 5	+ 2
7	+	+ 28	— 2
8	—	— 7	+ 6
9	+	+ 28	— 2
10	—	— 7	+ 1
11	+	+ 27	— 2
12	—	— 5	0

Dans ces exemples, le sens des déviations était bien celui attendu de l'effet magnétique de la convection électrique ; mais le débit réalisé, au maximum $\frac{1}{30.000}$ d'ampère, ne devait donner au système astatique qu'une déviation de 2 millimètres.

Dans ces séries, on vérifiait à chaque instant la valeur de la perte en mesurant les débits au balai A, puis au balai B. Ces pertes étaient toujours inférieures à $\frac{1}{10}$.

La seule conclusion possible de l'ensemble de faits que je viens de résumer, c'est qu'il faudra encore beaucoup d'expériences et, par conséquent, beaucoup de temps pour arriver à éclairer tous les points du débat et à en dégager une conclusion à l'abri de toute critique.

Sur les redresseurs électrolytiques des courants alternatifs;

Par M. R. Dongier.

I. Le courant alternatif est d'un usage très répandu, à cause des avantages économiques qu'il présente. Les alternateurs qui le produisent se prêtent admirablement à l'utilisation des grandes puissances; de plus, les transformateurs statiques, qui permettent de faire varier sa tension avec des rendements élevés, ont contribué, en rendant pratique l'emploi des grandes tensions, à étendre les limites du transport de l'énergie à distance.

Le courant alternatif peut, comme le courant continu, servir dans l'éclairage à arc et à incandescence, dans le chauffage électrique. Mais, tandis qu'il se prête moins bien que le courant continu à la mise en marche des moteurs, il ne peut être utilisé dans la charge des accumulateurs et dans les applications de l'électrolyse.

La question de la transformation directe du courant alternatif en courant continu est ainsi placée au premier rang des progrès à réaliser. Les commutatrices de grandes puissances, qu'on a établies depuis longtemps pour produire cette transformation, fournissent d'excellents résultats. Il n'en est pas ainsi des machines qui sont d'une faible puissance et qui exigent quand même les soins et la surveillance imposés par tout système rotatif. Celles-ci seraient donc remplacées avec avantage par des appareils statiques et robustes, d'un entretien facile et de rendements élevés, comme les transformateurs de tension pour courants alternatifs. La soupape électrolytique a conduit, dans cette voie, à des résultats qui méritent d'être signalés.

II. *Historique.* — Tout dispositif qui, automatiquement, joue le rôle d'un clapet ou d'une soupape, en ne laissant passer le courant que dans un seul sens, peut en principe servir au redressement du courant alternatif. Nombreuses ont été les observations de cette nature.

Buff (1) constata que, dans un électrolyte possédant une électrode en aluminium et une électrode métallique, le courant ne passe pas lorsque l'aluminium est anode, malgré une force électromotrice assez elevée dirigée dans l'électrolyte de l'aluminium vers l'autre électrode; au contraire, lorsqu'on intervertit les pôles, le courant peut circuler du métal vers l'aluminium à travers l'électrolyte.

(1) *Annales de Liebig*, t. CII, p. 296; 1857.

M. *Ducretet* [1], qui retrouva cette propriété en 1875, indiqua son application dans la télégraphie. La soupape à électrode d'aluminium peut être employée comme organe de sélection; si en effet on bifurque le circuit principal en deux circuits contenant des soupapes opposées, chacun de ces circuits ne laissant passer que des courants de sens bien déterminés, mais contraires dans l'un et dans l'autre, on sélectionne les signaux télégraphiques d'après le sens du courant qui sert à leur transmission. Le même appareil peut servir d'organe de protection dans tout circuit où seuls les courants d'un sens bien déterminé doivent être admis.

MM. *Jamin* et *Maneuvrier* [2] ont obtenu le redressement des courants alternatifs par un autre procédé. Des deux courants fournis par un alternateur, celui qui passe le plus facilement à travers l'arc électrique va du gros charbon au petit charbon, ou d'une tige de métal à une tige de charbon, ou d'une tige de cuivre vers la surface d'un bain de mercure. Cette propriété a été signalée de nouveau, en 1898, par Eichberg et Kallir [3].

M. *Nichols* [4] a annoncé que le courant fourni par une machine électrostatique va d'une boule à une pointe, à travers l'étincelle, tandis qu'aucun courant ne circule en sens inverse.

M. Liebenow [5] signale que M. *Mangarini*, ayant disposé une électrode de plomb de grande surface et un fil de platine comme deuxième électrode dans une solution aqueuse d'acide sulfurique, observa qu'une force électromotrice alternative rendait la pointe de platine incandescente en même temps qu'un courant pulsatif en partie redressé traversait le circuit de l'électrolyte.

Rappelons enfin que M. *Villard* [6], ayant observé, dans un tube de Crookes avec des électrodes de dimensions très différentes, que la décharge cathodique se produit toujours dans le même sens, a appliqué cette propriété au redressement des courants fournis par le secondaire d'une bobine d'induction actionnée par du courant alternatif.

Il resterait d'ailleurs bien d'autres exemples à citer pour faire une

---

(1) *J. de Phys.*, 1re série, t. IV, p. 84; 1875.
(2) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. XCIV, p. 1615; 1882.
(3) *Bulletin de l'Académie royale de Vienne* (*Math. nat.*, Cl. vol. CVII, p. 657; 1898.
(4) *Elecktrotechnische Zeitschrift*, t. XII, p. 140: 1891.
(5) Congrès de Munich de la Société allemande d'électrochimie, 22-26 juin 1897.
(6) *C. R.*, t. CXXVIII, p. 994; 1899.

énumération complète des cas où le redressement du courant alternatif a été obtenu.

III. *Clapets électrolytiques.* — Les résultats pratiques les plus intéressants ont été fournis par la propriété, découverte par Buff, que possède une *anode* d'aluminium plongée dans un électrolyte d'opposer un obstacle très considérable au passage du courant.

MM. Hutin et Leblanc firent remarquer, en 1891, tout le parti qu'on pourrait tirer de clapets électrolytiques de cette nature ; ils ne poursuivirent toutefois aucune recherche expérimentale. Les essais industriels ont été effectués depuis 1895, principalement par MM. Pollak, Liebenow, Grœtz, Wilson, Nodon.

Pour que la soupape électrolytique rende des services dans le domaine de l'industrie, il faut : 1° qu'elle assure le redressement du courant alternatif pour les forces électromotrices efficaces de l'ordre de grandeur de celles employées couramment dans la pratique ; 2° qu'elle permette l'utilisation de toutes les phases du courant alternatif ; 3° qu'elle soit d'un entretien facile et peu susceptible d'altération.

Ces conditions ne pouvaient être satisfaites sans que des recherches nombreuses soient effectuées concernant le choix de l'électrolyte, le mode de formation de l'électrode active en aluminium, les qualités de l'électrode non active, les procédés de montage et d'assemblage des clapets électrolytiques.

Nous allons passer en revue les principales tentatives qui ont été faites et énoncer les résultats les plus importants qui ont été obtenus.

1° *Nature de l'électrolyte.* — M. Ducretet n'a publié en 1875 aucune remarque spéciale sur la nature de l'électrolyte. C'est la solution aqueuse d'acide sulfurique qui a été l'objet des tentatives et des recherches les plus nombreuses. MM. Pollak, Grœtz, Wilson l'ont successivement employée. Elle permet un fonctionnement régulier ; mais, tandis que le rendement ne dépasse pas 15 0/0, la force électromotrice du courant redressé n'est pas plus élevée que 40 volts. Avec un tel électrolyte, les modifications portant sur les autres parties de l'appareil n'ont pas fourni d'amélioration appréciable C'est ce qui résulte des expériences très intéressantes de M. Wilson[1], ainsi que des travaux de M. Grœtz[2].

(1) Wilson, *Proceedings of the Royal Society*, vol. LXIII, p. 329 ; 1898.
(2) *Congrès de Munich*, 1897, et *Eclairage électrique*, t. XIV, p. 289.

Les essais des sels d'aluminium et des aluns que M. Pollak (1) a fait breveter en 1896, les recherches sur le même sujet de M. Grœtz en 1897 (2), ont conduit à des conclusions concordantes; les solutions de sels d'aluminium ne fournissent pas de résultats meilleurs que la solution d'acide sulfurique.

L'usage du carbonate et du bicarbonate d'ammoniaque, dont M. Carl Liebenow a fait breveter l'emploi en 1898 (3), ne s'est pas généralisé.

M. Pollak, qui avait déjà réalisé, en 1896 (4), le redressement du courant alternatif pour des forces électromotrices atteignant 100 volts avec des solutions de sels alcalins, a pu obtenir, depuis 1898 (5), un rendement de 75 0/0 et pousser au delà de 140 volts, jusqu'à 200 volts, la force électromotrice du courant redressé en employant les phosphates alcalins de potassium, de sodium ou d'ammonium. Comme il semble que c'est à la découverte d'un tel électrolyte qu'on doit attribuer le succès industriel de la soupape électrolytique, nous allons exposer les principales considérations développées par cet auteur.

Les phosphates alcalins en dissolution se prêtent à la réalisation d'une solution neutre ou très légèrement acide. Il faut que la liqueur ne soit pas alcaline, parce que, s'il en était ainsi, l'attaque des plaques d'aluminium aurait lieu d'une manière permanente. Lorsque le sens du courant est tel que l'aluminium fonctionne comme anode, il y a production à la surface de ce métal d'une couche d'oxyde d'aluminium qui joue le rôle d'une résistance (6), peut-être d'une lame diélectrique (7). L'acide libre de la liqueur, qui tend à dissoudre cet oxyde, associe son action à celui du courant de sens contraire; celui-ci contribue en effet à la décomposition de l'alcali libre déposé sur l'aluminium remplissant alors le rôle d'une cathode.

Voici les réactions qui sont admises par M. Pollak. Le phosphate de potassium en dissolution dans l'eau est en partie dissocié :

$$4PO^4K^3 + \text{eau} = \underset{\text{ion} -}{4PO^4} + \underset{\text{ion} +}{4K^3}.$$

(1) POLLAK, *Brevet allemand* n° 1096; 14 janvier 1896.
(2) *Eclairage électrique*, t. XIV, p. 290.
(3) LIEBENOW, *Brevet allemand* 1898.
(4) POLLAK, *Brevet allemand* n° 1096; 14 janvier 1896.
(5) POLLAK, *Brevet allemand*, 31 août 1898; n° 107435; — et BLONDIN, *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 2e série, t. I, p. 326; juillet 1901.
(6) BEETZ, *Wied. Ann.*, 2e série, p. 94; 1877.
(7) SREINTZ, *Wied. Ann.*, 32, p. 106; 1887; — 34, p. 751; 1888.

A. — Le courant va de l'aluminium vers le plomb.

Il se produit, à la surface de l'aluminium fonctionnant comme anode, les réactions :

$$4PO^4 + 6H^2O = 4PO^4H^3 + 6O,$$

et

$$4Al + 6O = 2Al^2O^3;$$

à la surface du plomb fonctionnant comme cathode :

$$4K^3 + 12H^2O = 12KOH + 12H.$$

L'hydrogène est mis en liberté.

B. — Le courant va du plomb vers l'aluminium.

Il se produit du peroxyde de plomb à la surface du plomb fonctionnant comme anode :

$$3Pb + 4PO^4 + 6H^2O = 4PO^4H^3 + 3PbO^2,$$

et les réactions suivantes à la surface de l'aluminium fonctionnant comme cathode :

$$2Al^2O^3 + 12K + 6H^2O = 4Al + 12KOH,$$

et

$$4PO^4H^3 + 12KOH = 4PO^4K^3 + 12H^2O.$$

La liqueur revient ainsi à son état initial.

Ces idées sont précisées davantage encore dans l'exposé très complet que M. Blondin en a fait dans l'*Eclairage électrique* et à la Société internationale des électriciens [1] :

« L'emploi des selsalcalins est indispensable lorsque le nombre des alternances du courant devient de l'ordre de grandeur de celui adopté par l'industrie (80 alternances par seconde). Avec de tels courants, la couche isolante (constituée probablement par un sous-oxyde d'aluminium) doit être réduite très rapidement ; le courant changeant de sens, la lame d'aluminium devient cathode, et il semble que les ions K ou Na puissent produire cette réduction plus rapidement que les ions H, mis en liberté dans le cas d'une solution

---

[1] Blondin, *Eclairage électrique*, t. XIV, p. 293 ; 1898 ; — t. XXVIII, p. 117 ; 1901 ; — *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 2e série, t. I, p. 323 ; juillet 1901.

aqueuse d'acide sulfurique. Les résultats fournis par le phosphate de potassium sont meilleurs que ceux obtenus avec le phosphate de sodium, parce que ce dernier sel détériore plus rapidement les plaques d'aluminium. Le phosphate d'ammonium présente, comme les autres sels ammoniacaux, l'inconvénient de donner lieu à la formation de gaz ammoniac qui s'échappe peu à peu de l'électrolyte, de sorte qu'au bout d'un temps relativement court, il est indispensable soit de changer l'électrolyte, soit d'y remplacer le gaz ammoniac dégagé ; cette opération est délicate et ne peut être faite par addition d'une solution aqueuse ammoniacale, qui aurait l'inconvénient de diluer l'électrolyte. »

Il est vrai que M. Nodon (1), qui a présenté au public, en 1901, un appareil de cette nature sous le nom de « soupape Nodon », et qui emploie une solution concentrée de phosphate d'ammonium, assure avoir pu utiliser le même électrolyte pendant une année de fonctionnement continu, sans qu'il se soit produit de modification sensible dans sa composition ou d'attaque apparente des deux électrodes (2).

MM. Siemens et Halske ont aussi fait breveter (3) (4 janvier 1901) l'emploi des sels ammoniacaux organiques.

Cet exposé entraîne une conclusion : c'est bien à l'emploi, indiqué par M. Pollak, des sels alcalins et spécialement des phosphates que l'on doit de pouvoir redresser le courant alternatif, même lorsque la force électromotrice efficace atteint jusqu'à 200 volts.

2° *Électrodes.* — L'électrode d'aluminium constitue l'organe essentiel du redresseur électrolytique. M. Pollak l'utilise après *formation*. Afin d'enlever les taches de graisse et les paillettes métalliques qui peuvent s'être incrustées dans la lame pendant le laminage, on la laisse séjourner plus ou moins longtemps dans une solution faiblement concentrée de soude caustique. Plongée ensuite dans une solution légèrement acide de phosphate de potassium, on la soumet, comme anode, à l'action d'une force électromotrice qu'on élève graduellement jusqu'à 200 volts ; la plaque devient irisée et les impuretés se trouvent recouvertes de croûtes d'aspect terne, qui sont des composés d'aluminium.

Diverses précautions sont indispensables, si l'on veut assurer aux lames d'aluminium une longue durée. Il faut : 1° que ces lames

(1) *Electricien*, 13 juillet 1901.
(2) *Electricien*, 28 juin 1902.
(3) Siemens et Halske, *Brevet allemand*, 4 janvier 1901.

plongent entièrement dans le liquide, afin d'éviter les altérations dues au contact de l'air; 2° qu'au sein de l'électrolyte, les lames d'aluminium ne soient pas en contact avec *d'autre matière que le caoutchouc;* 3° que l'on assure au liquide une température qui ne dépasse pas 40°; 4° que, pendant les temps de repos, les plaques ne séjournent pas dans l'électrolyte, qui tend à dissoudre la pellicule active de l'électrode d'aluminium. Si ces conditions sont satisfaites, on peut obtenir, avec des électrodes de 1 millimètre d'épaisseur, des durées de fonctionnement de 500 à 800 heures.

La deuxième électrode est en plomb. Chacune des électrodes est constituée d'une série de plaques de mêmes dimensions, équidistantes, parallèles les unes aux autres et réunies métalliquement. Les plaques d'aluminium intercalées entre celles de plomb, tout comme dans les accumulateurs, tiennent la place des plaques positives, tandis que les plaques de plomb tiennent la place des plaques négatives. Ce dispositif présente l'avantage d'étendre les limites d'emploi de l'appareil en permettant de grandes différences entre les valeurs extrêmes du courant transformé (de 5 à 30 ampères).

On évite que la température du liquide ne dépasse pas 40° en employant des vases assez profonds pour que la hauteur de la colonne d'électrolyte soit environ trois fois celle des plaques; l'élévation de température au contact des électrodes provoque des mouvements dans le liquide, et celui-ci se refroidit, tant par rayonnement que par évaporation, assez pour que quatre heures de fonctionnement de l'appareil ne suffisent pas à provoquer une élévation de température de plus de 20° [1].

Enfin un dispositif simple, facile à concevoir, permet de vider les bacs contenant le liquide lorsque les appareils ne doivent pas fonctionner.

M. Nodon, en construisant son appareil, a tenu compte des résultats acquis par ses prédécesseurs. L'électrode active est formée d'un alliage contenant beaucoup d'aluminium (97 0/0) et un peu de zinc (3 0/0). Dans le premier modèle [2], la deuxième électrode était en graphite. Dans le modèle actuel, le graphite est remplacé par du fer. Chacun des éléments se compose (*fig.* 1) : 1° d'un tube de fer R fermé à sa partie inférieure par un bouchon isolant de caoutchouc B.

---

(1) *Eclairage électrique*, t. XXVIII, p. 120 ; 1901.
(2) NODON, *Brevet allemand*, 26 août 1900.

Un second tube F en fer percé de trous est soudé au tube précédent; il porte à la partie inférieure une borne de contact C; 2° d'une tige cylindrique A, en alliage d'aluminium et de zinc, portant une prise de courant D et fixée dans le bouchon en caoutchouc qui ferme la partie inférieure du tube de fer.

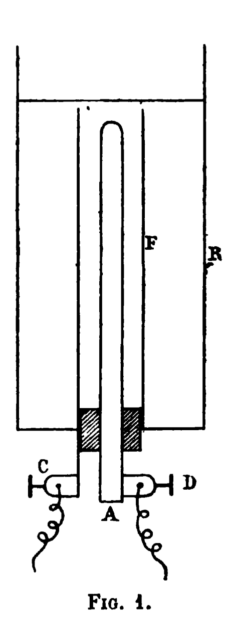


Fig. 1.

Dans les appareils à régime variable, on peut faire glisser un manchon d'ébonite le long de la tige d'aluminium, de façon à en faire varier la surface active.

La formation de l'électrode est effectuée en quelque sorte automatiquement. La soupape n'ayant pas fonctionné depuis quelques heures, la pellicule isolante de phosphate d'aluminium (1) est en partie réduite. On la reforme en introduisant une résistance inductive dans le circuit alternatif et en accroissant progressivement la force électromotrice du courant. Cette opération dure quelques secondes. La

(1) Nous avons vu que M. Pollak considère la pellicule isolante comme un oxyde d'aluminium. M. Nodon l'appelle du phosphate d'aluminium. La nature de cette couche active qui se forme et se déforme pour arrêter ou laisser passer le courant ne serait donc pas encore établie avec certitude. Signalons à ce sujet les recherches de M. K. Norden publiées dans les *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VI, p. 159 et 188; 1899.

résistance électrique présentée par les clapets pendant la période de formation ou de destruction du diélectrique est de l'ordre de 20 à 100 ohms-centimètres, au lieu de 6 ohms-centimètres, ce qui représente la résistance spécifique moyenne de l'électrolyte ([1]).

Dans le cas où le courant redressé a une intensité un peu forte, on remplace la tige d'aluminium par un tube de même métal à parois épaisses; on réalise ainsi une sorte de cheminée d'appel dans laquelle circule un courant d'air froid qui tend à abaisser la température à l'intérieur des électrolyseurs. On active le refroidissement dans le cas des très fortes intensités, à l'aide d'un ventilateur mû électriquement et disposé au-dessous de l'appareil.

Les dimensions des soupapes sont calculées de manière qu'il passe un courant compris entre 5 et 10 ampères par décimètre carré de surface active de la tige d'aluminium-zinc.

3° *Montage.* — Un seul clapet électrolytique en série sur le circuit d'un alternateur peut permettre la charge, par exemple, d'une batterie d'accumulateurs électriques. Le clapet ne laissant passer le courant que lorsque celui-ci a un sens convenable, la moitié seulement d'une onde complète du courant alternatif sert à la charge de la batterie.

On peut utiliser l'onde entière à l'aide d'un montage, facile à concevoir d'ailleurs, indiqué par M. Pollak en 1896 ([2]), puis, indépendamment, par M. Leo Grœtz ([3]) au Congrès de Munich, en juin 1897.

Chacun des pôles A et B du circuit qu'on doit faire parcourir par le courant continu (circuit d'utilisation dont on a représenté dans la *fig.* 2 les deux feeders AA′ et BB′) est réuni métalliquement aux deux pôles C et D de l'alternateur; sur chacun de ces circuits est intercalé un clapet électrolytique. Les deux clapets qui aboutissent à un *même pôle* du circuit d'utilisation ont la même polarité, tandis que la polarité des deux clapets qui commandent un des pôles est inverse de la polarité des deux clapets qui commandent l'autre pôle. S'il en est ainsi, le courant de l'alternateur ne peut pénétrer dans le circuit d'utilisation que par un des pôles, qui joue le rôle de pôle positif (AA′ dans le cas de la figure, puisque le courant ne peut traverser le clapet que de l'électrode non active à l'électrode active d'aluminium), et n'en sortir que par l'autre pôle BB′ qui remplit le rôle de pôle négatif. Pendant la demi-période où le pôle C de l'alternateur

([1]) Nodon, *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. CXXXI, p. 145; 16 février 1903.

([2]) *Brevet allemand*, 19 juin 1896, accordé le 1er septembre 1897.

([3]) *Eclairage électrique*, t. XIV, p. 289; 1897.

est à un potentiel plus élevé que le pôle D, les connexions qui entrent en jeu sont CA et B'D ; pendant la demi-période qui suit, où le pôle D est à un potentiel plus élevé que le pôle C, les connexions utiles sont DA' et BC.

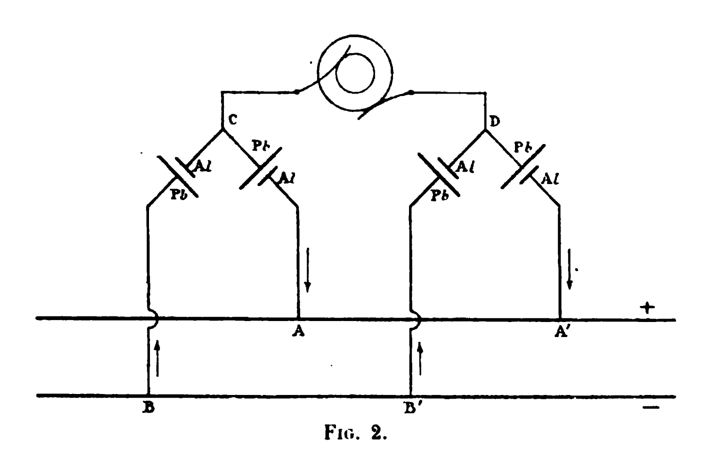


Fig. 2.

Les mêmes règles président au montage en courant alternatif triphasé (*fig.* 3). Les clapets disposés sur les fils conducteurs qui aboutissent à un même pôle (feeder AA'A") du circuit d'utilisation ont

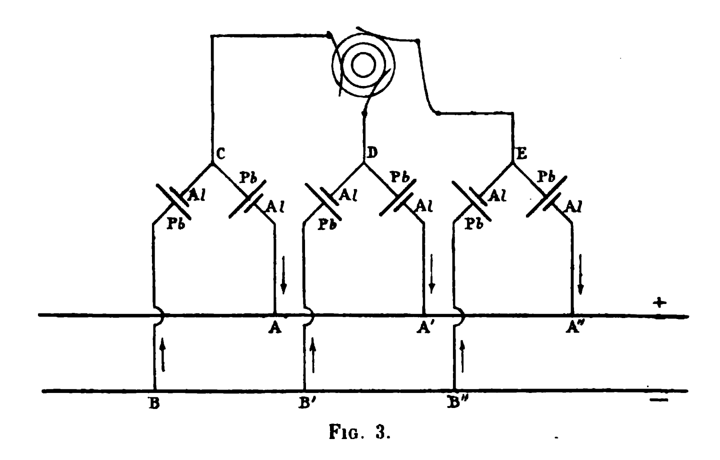


Fig. 3.

la même polarité. Cette polarité est inverse de la polarité des clapets intercalés sur les fils qui aboutissent à l'autre pôle (feeder BB'B") du circuit d'utilisation. Le courant provenant de l'alternateur ne peut

ainsi aller que vers le pôle AA'A" (pôle +) du circuit d'utilisation, d'où il sort par le pôle BB'B", qui joue le rôle de pôle négatif. On observe les mêmes particularités que dans le cas précédent, et il suffit de consulter la figure pour comprendre le mécanisme de l'utilisation des trois phases du courant alternatif. Ce procédé de montage est général; deux clapets sont nécessaires par phases indépendantes du courant alternatif.

4° *Condensateur électrolytique.* — Dans un certain nombre d'applications, M. Nodon a relié les pôles AA' et BB' du circuit d'utilisation aux pôles d'un condensateur électrolytique formé de deux plaques en aluminium et de grandes surfaces qui plongent dans une solution de phosphate d'ammonium. La plaque qui sert de pôle positif est préalablement recouverte, par voie électrolytique, d'une couche mince et isolante de phosphate d'aluminium. Grâce à l'épaisseur extrêmement faible du diélectrique (10^{-8} centimètre), si l'on admet un pouvoir inducteur spécifique égal à l'unité [1], ce condensateur, dont les armatures sont, d'une part, l'aluminium et, d'autre part, le liquide électrolytique, présente une grande capacité, 1 farad par centimètre carré de surface d'aluminium [1]. Cette grande capacité et la possibilité de l'emploi des clapets électrolytiques au même titre que les condensateurs avaient été déjà signalées en 1897 par M. Pollak [2]. Un tel modèle peut fonctionner sans perte appréciable d'énergie

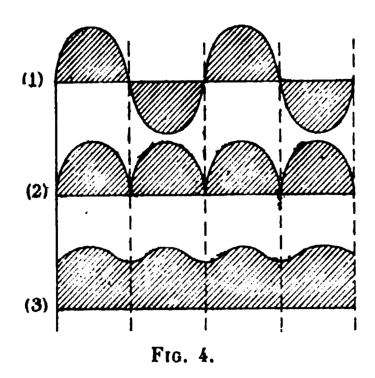


Fig. 4.

avec des différences de potentiel comprises entre 1 volt et 150 volts. S'il arrive que le diélectrique soit percé par une décharge entre l'alu-

(1) *C. R.*, t. CXXXVI, p. 445; 16 février 1903.
(2) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 21 juin 1897.

minium et le liquide, la couche isolante est reconstituée instantanément au point de décharge par suite d'une nouvelle électrolyse en ce point.

Ce condensateur agit sur le courant redressé à la façon d'un volant : au lieu d'être ondulée (courbe 2), la courbe de l'intensité du courant présente une ordonnée sensiblement constante (courbe 3) (*fig.* 4).

IV. *Rendement.* — Les fuites provoquées par l'existence du courant qui reforme la couche diélectrique à la surface de l'électrode d'aluminium, la chaleur dégagée par l'effet Joule, abaissent le rendement de la soupape électrolytique. La mesure du rendement est d'ailleurs une opération délicate. La méthode qui paraît la plus exacte et la plus pratique consiste à enregistrer les différences de potentiel et les intensités. L'ondographe de M. Hospitalier [1] se prête à cet usage. Le redresseur électrolytique du type Nodon, étudié au moyen de cet appareil, a fourni un rendement compris entre 75 et 80 0/0.

M. Pollak [2] avait déjà fait, en 1899, des déterminations indirectes de ce rendement. Il chargeait une batterie d'accumulateurs, mesurait d'abord l'énergie fournie à l'appareil redresseur pendant la durée de la charge, puis l'énergie récupérable dans la décharge de la batterie. Le rapport des nombres obtenus fournissait le produit du rendement de l'appareil redresseur par le rendement de la batterie. La détermination de ce dernier rendement permettait en définitive le calcul du rendement du clapet électrolytique ; on a obtenu ainsi des valeurs qui ont varié entre 75 et 80 0/0. D'après M. Pollak, le rendement augmente lorsque la fréquence du courant diminue et aussi lorsqu'on opère avec des différences de potentiel croissantes.

D'après M. Nodon [3], le rendement varie d'une manière inappréciable avec la fréquence, pour les fréquences ordinairement employées dans la pratique (42 à 84 fréquences à la seconde).

La forme du courant redressé change d'ailleurs avec son mode d'emploi, c'est-à-dire avec les conditions du circuit d'utilisation. Les courbes fournies par l'ondographe Hospitalier démontrent d'une façon nette le redressement du courant ; il n'y a pas de changement

---

(1) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 2e série, t. I, p. 339 ; juillet 1901 ; — et *J. de Phys.*, 4e série, t. I, p. 409 ; 1902.

(2) *Eclairage électrique*, t. XXVIII, p. 122 ; — et *Bulletin des Séances de la Société française de Physique*, 6 juin 1902.

(3) *Electricien*, 28 juin 1902.

de signe, même lorsque le circuit d'utilisation n'a pas de self-induction.

V. *Applications.* — La soupape électrolytique peut rendre des services avec les lampes à arc et les moteurs à courant continu, dans la charge des accumulateurs, dans la traction mécanique et aussi comme appareil de secours dans les installations où se trouvent déjà des commutatrices. Elle peut trouver un emploi dans les applications médicales de l'électricité, dans la radioscopie. Des tentatives relatives à son utilisation en téléphonie ont été effectuées par MM. Estaunié et Montpellier [1]. En reliant un transmetteur téléphonique à un galvanomètre sensible par l'intermédiaire d'un clapet électrolytique, on observe une élongation fixe de l'aiguille du galvanomètre qui mesure des courants de l'ordre de grandeur des courants téléphoniques.

Il y a lieu de signaler la capacité spécifique très grande [2] que possède le clapet électrolytique ; c'est une propriété susceptible d'applications nombreuses dans les recherches de laboratoire et dans la pratique industrielle.

---

(1) Nodon, *C. R.*, t. CXXXVI, p. 446, 26 février 1903.
(2) 1 farad par centimètre carré de surface d'aluminium.

DISCOURS

PRONONCÉ AUX OBSÈQUES DE M. A. CORNU

Par M. H. POINCARÉ, membre de l'Institut,

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

MESSIEURS,

Quand la mort nous enlève un homme dont la tâche est terminée, c'est seulement l'ami, le maître ou le conseiller que nous pleurons; mais nous savons que son œuvre est accomplie et, à défaut de ses conseils, ses exemples nous restent. Combien elle nous semble plus impitoyable quand c'est un savant encore tout rempli de vigueur physique, de force morale, de jeunesse d'esprit, d'activité féconde qui soudain disparaît; alors nos regrets sont sans bornes, car ce que nous perdons, c'est l'inconnu, qui par essence est sans limites; ce sont les espoirs infinis, les découvertes de demain que celles d'hier semblaient nous promettre.

De là cette émotion qui s'est emparée du monde savant tout entier quand cette nouvelle si imprévue, si foudroyante est venue le frapper.

Pour la Société française de Physique, le deuil est particulièrement cruel. Il avait été un de nos fondateurs et nous aimions à nous enorgueillir de ses travaux, à nous parer de l'éclat de son nom. Sa voix était toujours écoutée dans nos conseils, et nous avons peine à croire que nous ne l'y entendrons plus.

Récemment, quand il nous fallut choisir un président pour recevoir dignement nos hôtes de 1900, c'est à lui que tout naturellement nous avons songé. Nul n'aurait présidé avec plus d'autorité ces débats où nous avions convié tant d'illustres savants étrangers. Il était désigné par sa gloire incontestée qu'avait consacrée le suffrage de tant d'académies étrangères, par l'étendue et la sûreté de sa science, par la justesse de son esprit.

Nous avons eu la primeur de presque toutes ses découvertes. Qui de nous ne se rappelle avec quelle limpidité il nous les exposait,

avec quelle chaleur aussi et surtout avec quelle élégance! Il était aussi jaloux d'une clarté impeccable en face de ses collègues qu'en face de ses élèves. Faire autrement eût été pour lui une souffrance, car ses goûts d'artiste en auraient été choqués. Et, en effet, l'artiste se retrouvait partout : chez le penseur, chez l'expérimentateur, chez le professeur.

Quand il imaginait ou qu'il construisait un appareil nouveau; quand il en étudiait les derniers détails; quand il le décrivait surtout, on sentait que ce n'était pas seulement à ses yeux un instrument, mais un objet d'art, et qu'il ne se préoccupait pas uniquement d'aller au but par le chemin le plus sûr et le plus court. La moindre imperfection le faisait souffrir, non parce qu'elle était une gêne, mais parce qu'elle était une tache.

Aussi, quand il aborda l'étude de la diffraction, il eut bientôt fait de remplacer cette multitude rébarbative de formules hérissées d'intégrales par une figure unique et harmonieuse que l'œil suit avec plaisir et où l'esprit se dirige sans effort.

D'autres voix viennent d'énumérer devant vous tous ses travaux scientifiques, qui d'ailleurs sont dans toutes les mémoires. Je n'y reviendrai pas. Il est peu de domaines en physique où il n'ait reculé les bornes de la précision, où il ne nous ait laissé quelque petit modèle d'une perfection achevée.

Mais l'optique l'a toujours attiré; il y revenait sans cesse, même quand cette science était délaissée par la mode. Les instruments d'optique, la diffraction, le spectre solaire, la vitesse de la lumière surtout, rappelaient constamment son attention. C'est en mesurant cette vitesse qu'il avait débuté; il y pensait encore dans ses derniers jours. Il avait conçu des projets grandioses dont la réalisation était commencée; il voulait faire voyager le rayon dont il devait mesurer la vitesse entre la Corse et le mont Mounier, où est la succursale de l'observatoire de Nice.

Comme il aimait cet observatoire où il allait tous les ans et où ses conseils étaient hautement appréciés! Et comment ne pas évoquer le souvenir de ce voyage récent où nous l'avons vu au sommet de ce mont Mounier, regardant la mer au-dessus de laquelle il voulait faire passer la lumière! Avec quelle confiance il parlait de son rêve, et qui de nous eût pu croire alors qu'il n'en verrait pas l'accomplissement?

C'est que, en effet, quand M. Cornu prédisait le succès, on pouvait

y compter avec certitude. Sa critique était sûre et il se défiait de l'enthousiasme. Il savait de quelles embûches l'expérimentateur est environné et à quel prix la précision ou la certitude scientifique peuvent s'acquérir. Nul ne savait mieux que lui prévoir tous ces pièges, et en lui donnant la main on était certain de les éviter. Il n'est pas un de nous à qui ses conseils n'aient épargné quelque mécompte.

Aussi n'était-il pas dupe de ces modes passagères qui entraînent les foules scientifiques aussi facilement que les foules vulgaires. Toujours il attendait la preuve avant de croire.

Il aimait les débutants et il cherchait à les encourager; mais il avait soin de les prémunir contre les écueils sur lesquels leur ardeur juvénile aurait pu les entraîner. Ceux qui avaient accepté sa discipline ne tardaient pas à en reconnaître la sagesse.

Tel est l'homme éminent que nous avons perdu. Mais ce n'était pas seulement l'élévation de sa pensée qui faisait le charme de son commerce; c'étaient encore sa bonté, sa modestie, sa simplicité. Ce savant, ce maître, ce guide était, en même temps, un ami sûr; et ce deuil, qui atteint notre corps, atteint aussi chacun de nous.

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

FAITES PENDANT L'ANNÉE 1902.

SÉANCE DU 17 JANVIER 1902.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 20 décembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. DRAULT, Constructeur, à Paris.
LANGEVIN, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi du *Catalogue des instruments de précision de France*, édité par les soins du Syndicat patronal des constructeurs en instruments de précision. Ce catalogue contient : 1° une introduction de M. Cornu; 2° une table des diverses spécialités; 3° une table alphabétique des constructeurs par spécialités.
Ce catalogue sera adressé à MM. les Professeurs au nom du Syndicat et par les soins de M. Ph. Pellin.

M. le PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts annonçant que le quarantième Congrès des Sociétés savantes s'ouvrira, à la Sorbonne, le mardi 1er avril prochain, à 2h précises. Les travaux se poursuivront durant les journées des mercredi 2, jeudi 3 et vendredi 4 avril. Le samedi 5 avril le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts présidera la séance générale de clôture, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne.

M. le PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire, le renouvellement partiel du Conseil et de la Commission du *Bulletin*.

M. le PRÉSIDENT rappelle que le Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1900-1901 a été adressé à tous les Membres de la Société; il demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Aucune observation n'étant présentée, le Rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

M. le Président proclame le résultat du vote. Sont élus :

Vice-Président : M. C.-M. Gariel, Membre de l'Académie de Médecine Professeur à la Faculté de Médecine.
Vice-Secrétaire : M. Jean Perrin, chargé de cours à la Faculté des Sciences.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. Benoist (Louis), Professeur au Lycée Henri IV.
Pellin (Ph.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments d'optique.
Raveau (C.), Préparateur à la Faculté des Sciences.
Riban (Joseph), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences.

Membres non résidants :

MM. Bose (J.-C.), Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).
Sagnac (G.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.
Spring (W.-C.), Membre de l'Académie Royale, Professeur à l'Université de Liége (Belgique).
Turpain (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Est élu Membre du Conseil pour l'année 1902 :

M. Troost, Membre de l'Institut.

Commission du Bulletin :

MM. E. Bouty et Foussereau.

Sur la proposition du Conseil : M. A. Potier, Membre de l'Institut, et M. Van der Waals, Professeur à l'Université d'Amsterdam, sont élus à l'unanimité Membres honoraires de la Société.

M. H. Pellat, avant de quitter la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède le fauteuil à M. Henri Poincaré, Président pour l'année 1902.

Les Mouvements de l'air étudiés par la photographie. — M. Marey rappelle les expériences qu'il a publiées en 1893 sur le Mouvement des liquides. On enregistre par la photographie le mouvement de perles brillantes ayant la même densité que le liquide et entraînées par un courant de vitesse variable à la rencontre de plans inclinés sous différents angles ou à la rencontre de corps de formes variées. On peut ainsi suivre la trajectoire de chaque perle brillante représentant une molécule liquide et obtenir sa vitesse à chaque instant; celle-ci est en effet fournie en fonction de l'écartement des perles brillantes, et elle est d'autant plus considérable que cet écartement est plus grand.

Parmi les photographies projetées pendant la séance, celle relative à l'action d'un courant liquide sur un plan incliné montre que les différents

filets liquides arrivent sur l'obstacle suivant des directions plus ou moins obliques; sur la face que le plan incliné présente au courant, il se produit un partage de ces filets, tandis qu'en arrière de l'obstacle les filets de liquide exécutent des remous capricieux. Dans le cas d'un obstacle pisciforme, les veines fluides suivent la paroi ; il se produit en arrière du corps des remous peu prononcés ou très prononcés, suivant que le liquide aborde le corps du côté de son extrémité aiguë ou du côté obtus.

Les photographies relatives aux changements du profil des liquides dans les ondes montrent des ventres et des nœuds, c'est-à-dire des crêtes et des creux occupant tantôt des points fixes, comme dans les clapotis, tantôt se déplaçant avec des vitesses variables, comme dans les vagues et la houle.

Les observations relatives aux trajectoires suivies par les particules d'air rencontrant un obstacle sont de date récente; les déplacements gazeux sont représentés par des filets de fumée obtenus par la filtration du courant d'air à travers des gazes de soie à mailles égales; la photographie des fumées est obtenue à l'aide d'un éclair magnésique. Lorsqu'aucun obstacle n'entrave le courant d'air, les filets de fumée apparaissent rectilignes et parallèles entre eux. Si l'on place dans le courant un plan incliné, les filets de fumée s'élargissent; ce qui prouve déjà que leur vitesse diminue; les uns remontent vers le bord supérieur du plan, les autres glissent sans se mélanger et s'écoulent par le bord inférieur.

La vitesse du courant d'air aux différents points de son parcours est d'ailleurs obtenue en soumettant la masse en mouvement à un ébranlement latéral provoqué par un trembleur électrique de dix périodes par seconde; dès lors, les filets de fumée, au lieu d'être rectilignes, présentent une série d'inflexions latérales qui se conservent pendant toute la durée de leur parcours. Rien n'est fortuit dans les résultats obtenus, car l'expérience, répétée deux fois de suite dans les mêmes conditions, fournit deux images identiques et superposables entre elles pour tous les points qui ne se trouvent pas dans la région des remous.

La méthode qui précède fournit des renseignements de cinématique dans le cas des liquides et des gaz; elle peut aussi donner des renseignements de dynamique; il suffit de photographier les déplacements à des intervalles égaux; on mesure la force par l'accélération qu'elle produit. Cette méthode a été appliquée par M. Marey à l'étude des efforts musculaires effectués par des athlètes venus à Paris, au moment de l'Exposition de 1900, pour le lancement d'un corps lourd.

Méthode pour la mise au point des lunettes et des collimateurs, par M. Lippmann. — Pour amener la fente d'un collimateur dans le plan focal de l'objectif, on interpose entre le collimateur et la lunette qui vise la fente une lame de verre ayant environ 3cm d'épaisseur. Si le réglage du collimateur pour l'infini n'est pas effectué, l'image obtenue dans la lunette se déplace lorsqu'on incline la lame par rapport à l'axe du collimateur; dans le cas où la lame de verre n'intercepte que la moitié du faisceau pénétrant dans la lunette, on aperçoit dans le champ de la lunette deux images; l'une d'elles, fournie par les rayons qui ont traversé la lame de verre, se déplace lorsqu'on incline celle-ci, tandis que l'autre reste fixe. Le réglage est obtenu lorsque les deux images restent en coïncidence, quelle que soit l'orientation de la lame de verre.

On peut, au lieu d'interposer une lame de verre, obtenir un résultat équivalent en visant la fente du collimateur avec une lunette à large objectif et en déplaçant le collimateur parallèlement à lui-même; l'image de la fente doit conserver une position invariable dans le champ de la lunette.

La précision du réglage est limitée par l'épaisseur de la glace dans le premier cas et par les dimensions de l'objectif de la lunette dans le

second cas; cette méthode présente l'avantage de permettre le réglage en utilisant la totalité du faisceau lumineux qui émerge de l'objectif du collimateur.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1900-1901.

MESSIEURS,

Le compte de l'Exercice clos le 30 novembre dernier comprend les articles suivants :

Recettes.

En caisse au 1er décembre 1900		5474,40 fr
Cotisations arriérées	945,00 fr	8355,00
» 1901	7410,00	
Entrées		110,00
Souscriptions perpétuelles		2400,00
Intérêts du capital		2557,85
Vente des publications de la Société		1483,20
Subvention ministérielle		240,00
Legs Martin (frais déduits)		862,55
TOTAL DES RECETTES		21483,00

Dépenses.

Loyer du siège social	600,00 fr
Traitement de l'agent	2200,00
Abonnements et reliures	355,75
Indemnité pour le service de la Bibliothèque	400,00
Achats de livres	458,85
Bibliothèque circulante	116,70
Frais de bureau; étrennes	543,35
Distribution du *Bulletin* et des *Ordres du jour*	784,10
Recouvrement des cotisations	243,73
Frais d'expériences	158,25
Séance de Pâques	962,90
Gravure du *Bulletin*	36,55
Impressions Gauthier-Villars	8000,00
» Deslis	1761,35
Achat d'obligations	823,35
Divers	17,15
TOTAL DES DÉPENSES	17462,03

D'où résulte un excédent de recettes, en caisse au 1er décembre 1901, de 4020,97

Il est à remarquer que, dans le compte ci-dessus, l'acompte de 8000fr, éteignant presque entièrement la dépense relative à l'impression du Tome III du *Recueil des Constantes*, a pu être remis à M. Gauthier-Villars, grâce à la générosité d'un membre anonyme qui avait antérieurement remis à la Société un don de 6000fr pour ce Recueil.

Situation.

La situation de la Société au 30 novembre 1901 se résume ainsi :

Actif.

162 obligations Midi, Est et Ouest achetées 67277fr,25 et valant au 30 novembre 1901	fr 73739,75
En caisse au 30 novembre 1900	4020,97
TOTAL DE L'ACTIF IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE...	77760,72

Passif.

Mémoires dus à M. Gauthier-Villars :

Pour impressions diverses	fr 3222,30

Si de l'actif immédiatement réalisable	fr 77760,72
on retranche le passif	3222,30
IL RESSORT UN EXCÉDENT D'ACTIF DE	74538,42

D'autre part, les souscriptions perpétuelles

S'élèvent, comme on le verra plus loin, à	fr 53700
Le fonds Guébhard pour l'entretien de la Bibliothèque à	8800
ENSEMBLE	62500

Les obligations possédées par la Société représentent, au prix d'achat	fr 67277,25

Somme supérieure de 4777fr,25 à celle qui, aux termes des Statuts (Art. 3 et 14), doit être placée en rentes sur l'État ou obligations des Chemins de fer français. C'est, comme vous le voyez, Messieurs, une situation plus que satisfaisante.

Actif non immédiatement réalisable.

Indépendamment des titres déposés en banque et qui constituent son avoir immédiatement réalisable, la Société possède, en dépôt chez M. Gauthier-Villars, un grand nombre de volumes qui augmentent sensiblement son avoir. En voici le relevé :

Coulomb	580	3576 volumes à 6fr l'un	fr 21456,00
Ampère I	636		
» II	770		
Pendule I	753		
» II	837		
Constantes I	761	2562 volumes à 7fr,50	19215,00
» II	853		
» III	948		
Cotisations à recouvrer, estimées à			500,00
TOTAL DE L'ACTIF NON IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE...			41171,00

Statistique.

Au 1er décembre 1900		919 Membres.
Reçus en 1901		51
Total		970
A déduire :		
Décédés	15	
Démissionnaires ou rayés	9	24
Membres au 1er décembre 1901		946

savoir :

433 à Paris,
333 en province,
180 à l'étranger,
946

Les Membres perpétuels sont au nombre de 279, savoir :

		fr		fr
260 (dont 48 décédés)	ayant versé...	200,	soit	52000,00
4 (dont 1 décédé)	» ...	150,	»	600,00
7 (dont 1 décédé)	» ...	100,	»	700,00
8	» ...	50,	»	400,00
279				53700,00

La Commission a constaté l'ordre et la régularité des écritures tenues par M. le Trésorier; elle vous propose, Messieurs, d'approuver les Comptes ci-dessus exposés, et elle vous demande de vouloir bien adresser de sincères remercîments à M. de la Touanne.

Paris, le 9 janvier 1902.

Les Membres de la Commission,

J. Gay, Vieille; Girardet, Rapporteur.

SÉANCE DU 7 FÉVRIER 1902.

Présidence de M. H. Poincaré.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 17 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société.

MM. Andrault, Chargé de Cours au Lycée de Gap (Vaucluse).
Barbaste, Licencié ès sciences à Antrain (Ille-et-Vilaine).
De Broglie, Enseigne de vaisseau à bord du *Saint-Louis*.
Sarding, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Toulouse.

M. H. Poincaré, après avoir exprimé ses remerciements aux Membres de la Société qui l'ont chargé de présider les séances, constate que la tâche du physicien, tant au point de vue expérimental qu'au point de vue théorique, est rendue bien intéressante aujourd'hui, non seulement à cause des découvertes déjà faites, mais aussi et surtout à cause des résultats que réserve l'avenir.

M. C.-M. Gariel, élu vice-président; M. Jean Perrin, élu vice-secrétaire; MM. Louis Benoist, Ph. Pellin, C. Raveau, J. Riban, Troost, J.-C. Bose, G. Sagnac, W.-C. Spring et A. Turpain, élus membres du Conseil; MM. Bouty, Foussereau, Guillaume et Raveau, élus membres de la Commission du *Bulletin*, adressent leurs remerciements à la Société.

Le Secrétaire général signale une omission au Procès-verbal de la séance du 15 février 1901. Les observations ci-après ont été présentées à la suite de la Communication de M. Crémieu :

M. Korda fait remarquer qu'il est en mesure de confirmer le résultat expérimental annoncé par M. Crémieu. En effet, il a exécuté, en collaboration avec M. Rhoné dans le courant de l'année 1899, des expériences entreprises dans le but de rechercher si des barreaux de fer ou des disques en tôle en mouvement très rapide dans un champ électrique intense deviennent le siège d'une polarisation magnétique. Un magnétomètre très sensible devait indiquer l'effet du magnétisme induit. Or, chaque fois qu'une cage de Faraday préservait le magnétomètre de toute action électrostatique, aucune déviation n'a jamais pu être observée ni pendant le mouvement dans le champ électrique, ni lors de la suppression ou du rétablissement de ce dernier.

Sur une propriété nouvelle des corps traités par l'ozone; par M. P. Villard. — L'oxygène ozonisé, préparé par la méthode ordinaire, est à peu près sans action sur le gélatinobromure d'argent. On obtient, au contraire, une action intense en mettant sur la plaque sensible, ou à quelques millimètres de celle-ci, un corps capable de détruire l'ozone (papier, caoutchouc, etc.). Une pièce de monnaie donne ainsi, au contact, une effigie très marquée : l'action n'existe pas si la pièce a été préalablement chauffée au rouge.

Il n'est pas nécessaire que l'objet actif soit mis en présence de la plaque sensible pendant l'ozonisation. La propriété d'impressionner le sel d'argent persiste plus de 24 heures après que l'ozone a cessé d'agir.

On obtient des résultats analogues avec des substances inorganiques, par exemple des métaux préalablement traités par la chaleur rouge : certains d'entre eux acquièrent, sous l'influence de l'ozone, une activité assez grande qui persiste pendant plus d'un jour. Le bismuth est dans ce cas, mais les résultats sont très irréguliers et semblent attribuables à un corps étranger. L'aluminium donne des résultats assez constants; toutefois, l'impression photographique n'est pas uniforme; elle se compose d'un semis de points noirs sur un fond grisâtre. L'aluminium silicié s'est montré extrêmement actif, sans qu'il soit cependant certain que le fait soit dû au silicium.

L'action exercée sur la plaque sensible a lieu à une distance de plusieurs millimètres. Il semble même que l'émanation ou le rayonnement émis soient susceptibles de traverser une feuille très mince d'aluminium laminé. Le fait a été observé une fois avec l'aluminium silicié très actif.

Il n'est pas encore possible, surtout en l'absence de phénomènes d'ordre électrique, de relier ces faits par une hypothèse. Mais on entrevoit la pos-

sibilité d'expliquer simplement un grand nombre d'observations très diverses: en particulier les propriétés des papiers insolés rentreraient dans cette catégorie. On sait d'ailleurs que Thénard attribuait leur activité à l'action de l'ozone.

A propos de la Communication de M. Villard, M. Cornu signale les expériences de Moser, relatives à l'inscription, sur plaque daguerrienne, de l'effigie d'une médaille en argent, bien nettoyée, mais manipulée avec les doigts; on avait déjà admis à cette époque que l'impression photographique était due à une émanation gazeuse; M. Cornu ajoute que Fizeau préconisait l'emploi de l'essence de lavande pour le lavage d'un daguerréotype sur argent poli et qu'il considérait comme important de ne pas enlever par le frottement toute la couche d'essence; l'action photographique est excitée par la présence de la substance organique. Ces faits sont connexes de ceux signalés par M. Villard.

M. Mercadier rappelle les expériences de M. Boudet de Paris, publiées dans le *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. III, p. 154-156, et relatives à l'inscription photographique obtenue à l'aide des étincelles électriques.

Travaux récents sur les gaz de l'atmosphère : Recherches de M. J. Dewar *et de MM.* Ramsay *et* Travers. — M. Ch.-Ed. Guillaume expose les résultats des Travaux récents de MM. Ramsay et Travers et de MM. Liveing et Dewar. Rappelant la découverte de l'argon par lord Rayleigh et son étude faite en commun avec M. Ramsay, il indique comment la recherche de l'argon dans certains minéraux révéla, pour la première fois, l'existence terrestre de l'hélium, découvert en 1869 par sir Norman Lockyer dans l'atmosphère du Soleil. On trouva aussi ce gaz dans diverses sources jaillissantes, et, en 1895, M. Kayser indiqua sa présence appréciable dans l'air.

MM. Ramsay et Travers entreprirent alors la recherche de corps inconnus dans l'air atmosphérique, par la méthode de la distillation fractionnée de l'air liquide. Les corps ainsi isolés, constituant la série récemment découverte, sont au nombre de cinq; le Tableau suivant, dans lequel ils sont rangés par ordre de températures de fusion et d'ébullition croissantes, indique la proportion approximative dans laquelle ils sont contenus dans l'air :

Hélium	$\frac{1}{1000000}$ à $\frac{2}{1000000}$,
Néon	$\frac{10}{1000000}$ à $\frac{20}{1000000}$,
Argon	$\frac{9370}{1000000}$,
Krypton	$\frac{1}{1000000}$,
Xénon	$\frac{1}{20000000}$.

La température critique de l'argon est dans la même région que celle des deux principaux constituants de l'air; celle de l'hélium et du néon est plus basse, celle des deux autres gaz sensiblement plus élevée. Cette première indication, rapprochée de celle des proportions de ces divers gaz dans l'air, renseigne sur la nature et sur la difficulté des opérations nécessaires pour les isoler.

Hélium et néon. — La machine à liquéfaction ayant marché pendant un certain temps, on faisait repasser continuellement les portions de l'air qui avaient échappé à la liquéfaction, de manière à recueillir autant que possible les parties les plus volatiles. Laissant revenir le liquide à l'état gazeux,

on enlevait l'azote en le comburant, et l'excès d'oxygène par le phosphore; puis on reliquéfiait le résidu en le comprimant dans une ampoule refroidie par l'air liquide sous faible pression. On soumettait le liquide à des distillations fractionnées répétées, contrôlées par des prises de densité; mais on n'obtint, par ce moyen, que du néon contenant encore des quantités notables d'hélium et un peu d'argon. La diffusion fractionnée fut ensuite essayée; enfin, on eut recours au refroidissement par l'hydrogène liquide, à une température où la pression de vapeur du néon est réduite à quelques millimètres de mercure. En diminuant la pression, on put enlever la presque totalité de l'hélium.

Krypton et xénon. — Tous les résidus peu volatils de liquéfaction étaient reversés, après chaque expérience, dans un gazomètre. Lorsqu'on en posséda une quantité suffisante, on enleva l'oxygène et l'azote par les moyens ordinaires et l'argon par distillation fractionnée; on sépara ensuite le krypton du xénon essentiellement par liquéfaction, évaporation et solidification fractionnées.

Propriétés des nouveaux gaz. — Les gaz ainsi isolés sont remarquablement inertes, ne montrant d'affinité pour aucun corps connu. Ils sont monoatomiques, comme l'indique le rapport de leurs chaleurs spécifiques, et semblent ainsi appartenir tous à une même famille. Leur densité et leur masse atomique montrent qu'ils forment une série régulière et la classification périodique permet de leur assigner une place, comme série complète, entre les halogènes (dans lesquels M. Ramsay, à l'exemple de M. Orme Masson, place l'hydrogène) et la série des métaux alcalins. La série inerte est ainsi comprise entre les séries les plus fortement positive et négative. La position des diverses séries est donnée, dans le Tableau suivant, par les masses atomiques :

H	1	He	4	Li	7	Be	9
Fl	19	Ne	20	Na	23	Mg	24
Cl	35,5	A	40	K	39	Ca	40
Br	80	Kr	82	Ru	85	Sr	87
I	127	Xe	128	Cs	133	Ba	137

Comme les séries voisines de celle des gaz inertes semblent complètes, on en conclut que le xénon est probablement le dernier corps de la nouvelle série.

Les principales propriétés des nouveaux gaz sont résumées ci-après :

Corps.	Densité (O = 16).	Densité du liquide.	Température de fusion.	Température d'ébullition.	Température critique.	Pression critique.
He.....	1,98	0,32				
Ne.....	9,96	1,02				
A......	19,96	1,21	−187°,9	−186°,1	−117°,4	40,2
Kr.....	40,70	2,15	−169°	−151°,7	− 62°,5	41,2
Xe.....	64,00	3,52	−140°	−109°,1	+ 14°,75	43,5

Les masses atomiques du précédent Tableau sont déduites de la colonne des densités. Les pressions critiques sont exprimées en mètres de mercure.

MM. Liveing et Dewar se sont proposé de recueillir les parties les plus volatiles de l'atmosphère, en utilisant le froid produit par l'ébullition

de l'hydrogène liquéfié pour la première fois par M. Dewar. L'air, recueilli dans une éprouvette refroidie par de l'air bouillant sous faible pression, est ensuite fractionné par distillation en vase clos, et recueilli dans une éprouvette refroidie par de l'hydrogène liquide. Le premier vingtième contient 43 pour 100 d'hydrogène, 6 pour 100 d'oxygène, et le reste constitué par divers gaz, hélium, néon, argon, etc. Pour éliminer les corps les moins volatils on fait passer les premiers gaz évaporés par un tube refroidi par l'hydrogène liquide, et l'on ne recueille, dans un tube de Geissler, que les portions non condensées. On reconnaît alors, au spectroscope, les raies de l'hélium et un grand nombre de raies non encore identifiées, mais parmi lesquelles s'en trouvent un certain nombre qui coïncident d'une manière remarquable avec celles du coronium. Il semble donc très probable que le coronium existe en très petite quantité dans l'atmosphère terrestre.

M. Guillaume fait remarquer, en terminant, que ce fait devient particulièrement suggestif si on le rapproche de la théorie des aurores polaires récemment émise par M. Arrhénius et suivant laquelle ce phénomène serait dû à des corpuscules échappés du Soleil et pénétrant dans notre atmosphère.

M. Deslandres signale que M. Pickering, de l'Observatoire Harvard College, a obtenu les raies du coronium en photographiant la trace lumineuse des étoiles filantes. Par la photographie d'éclairs M. Pickering a reconnu des radiations nouvelles qui sembleraient dénoter l'existence de gaz nouveaux.

Le télégraphone de Poulsen. — Le Secrétaire général présente et fait fonctionner cet appareil, qui a été obligeamment prêté pour la Séance par M. E. Ducretet.

SÉANCE DU 21 FÉVRIER 1902.

Présidence de M. C.-M. Gariel.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Baillaud (Jules), Aide-Astronome à l'Observatoire de Lyon, à Saint-Genis-Laval (Rhône).
Birkeland (Kristian), Professeur à l'Université de Christiania (Norvège).
Graetz (Leo), Docteur en Philosophie, Professeur à l'Université de Munich (Bavière).
Grimaldi (Giovan-Pietro), Docteur ès Sciences physiques, Directeur du Laboratoire et Professeur à l'Université royale, Catania, Sicile (Italie).
Jarret, Opticien à Paris.
Paulsen (Adam-Frédéric-Vivet), Directeur de l'Institut météorologique de Copenhague (Danemark).

M. le Président annonce que, par décision du Conseil, les dames peuvent être admises comme membres de la Société.

Système de télégraphie multiplex : nouvelles dispositions; par M. **Mercadier.**

M. E. **Mercadier** rappelle la description qu'il a donnée, dans une séance précédente (4 mai 1900), de son système de télégraphie multiplex (¹). Il indique les modifications et perfectionnements apportés au système depuis cette époque par la réduction du nombre des bobines d'induction employées et par la substitution au relais télémicrophonique différentiel d'un transformateur à trois fils égaux.

Une série d'expériences a été faite à l'aide de six opérateurs, avec trois transmetteurs et trois récepteurs microtéléphoniques placés à chaque bout d'une ligne artificielle représentant environ 150^{km} de ligne télégraphique réelle : des résonateurs placés sur les monotéléphones permettaient à tous les auditeurs d'entendre les signaux sonores produits.

M. E. Mercadier a montré ainsi :

1° Que plusieurs transmissions de signaux pouvaient être faites *simultanément* dans le même sens sans se confondre; 2° qu'il en était ainsi, en particulier, pour des signaux dont les périodes vibratoires ne différaient que d'un demi-ton; 3° que plusieurs signaux pouvaient être transmis *simultanément*, sans confusion, en sens contraire, par suite de l'extinction complète des effets des signaux transmis sur les récepteurs monophoniques du poste transmetteur; 4° enfin qu'on pouvait transmettre simultanément des signaux ondulatoires de télégraphie multiplex et des signaux intermittents usités en télégraphie ordinaire, dans le système Morse par exemple : un récepteur Morse a fonctionné ainsi pendant la séance.

SÉANCE DU 7 MARS 1902.

Présidence de M. H. Poincaré.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 21 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

Mmes Baudeuf-Bayard (Henriette), Professeur au Lycée de Jeunes Filles de Bordeaux.
Curie, Professeur à l'École Normale supérieure pour l'Enseignement secondaire des Jeunes filles à Sèvres, à Paris.
Pollak-Wscieklica (Marcela), Licenciée ès Sciences physiques, à Sceaux (Seine).

MM. Brocq, Ingénieur en chef de la Cie des Compteurs, à Paris.
Faure (Henri), Ingénieur de la Marine à Bizerte (Tunisie).
Fredet (Henri), Industriel à Brignoud (Isère).
Millis (John), Major of corps of Engineers, United States Army, U. S. Engineers office, Seattle State of Washington (U. S. A.).

M. le **Président** annonce les pertes douloureuses que la Société vient

(¹) *Voir* Séances de la Société française de Physique, p. 84; 1900.

de faire en la personne de M. J. Pernet, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Zurich et de M. le D[r] Leroy, Médecin-Major en retraite, Chef du Service scientifique des ateliers Nachet.

Sur les propriétés optiques des sulfates de néodyme et de praséodyme. — M. H. Dufet, au cours d'une étude cristallographique et optique des sulfates de néodyme et de praséodyme, y a constaté des phénomènes de dispersion anomale au voisinage et dans l'intérieur des régions du spectre riches en raies d'absorption. Ces phénomènes se manifestent d'abord par la variation de l'angle des *axes optiques,* ce qui est surtout en rapport avec le *polychroïsme*, c'est-à-dire avec ce fait que les spectres d'absorption diffèrent avec la direction des vibrations lumineuses. En second lieu, les *axes d'élasticité optique* placés dans le plan de symétrie de ces cristaux clinorhombiques, présentent dans les mêmes régions du spectre une dispersion anomale; le phénomène est surtout très marqué dans le sulfate de néodyme. Les courbes qui donnent soit l'angle des axes optiques, soit les angles des bissectrices pour différentes couleurs en fonction du carré de l'inverse de la longueur d'onde, présentent la plus grande analogie de forme avec les courbes bien connues qui représentent les indices de réfraction en fonction de $\frac{1}{\lambda^2}$.

Sur les effets de relief stéréoscopique; par M. E. Colardeau. — La faculté de perception du relief des objets, c'est-à-dire l'appréciation de leurs dimensions en profondeur, varie, comme on sait, beaucoup avec la distance à laquelle on observe ces objets. Quand ils sont très éloignés, ils paraissent absolument plats (disques du Soleil et de la Lune). A mesure qu'ils s'approchent, on apprécie de mieux en mieux leur profondeur et, à une certaine distance, on a la notion exacte de leurs trois dimensions. On s'accorde généralement à expliquer ce fait, d'après Wheatstone, par la dissemblance des deux images rétiniennes et par la variation de l'angle que font les axes des yeux quand on passe de l'observation d'un point appartenant au premier plan de l'objet à celui d'un point pris sur un plan plus éloigné. La pointe de cet angle équivaut, pour ainsi dire, à un appareil de sondage de l'espace en profondeur, appareil qui fonctionne d'une manière d'autant plus efficace que l'objet est plus rapproché.

Quand on prend une photographie stéréoscopique de cet objet avec un appareil dont l'écart des objectifs est égal à celui des yeux (soit 63^{mm} environ), on obtient deux épreuves dissemblables comme celles perçues directement par les yeux. Si l'on examine ces épreuves dans un stéréoscope de foyer équivalent à celui de l'appareil photographique, on a la sensation du relief, tant par le fait même de la dissemblance de ces deux épreuves que par la conséquence qu'elle entraîne, savoir : la variation de l'angle que doivent faire les axes des yeux pour passer de l'examen d'un point appartenant au premier plan de l'objet à celui d'un point des épreuves appartenant à un plan plus éloigné.

Il y a lieu, toutefois, de faire la remarque suivante : quand on examine directement l'objet supposé d'abord très éloigné et s'approchant peu à peu, son relief s'accentue, et à une certaine distance on perçoit ses dimensions exactes en profondeur. Si on l'examine à des distances de plus en plus petites à partir de celle-là, on continue à apprécier exactement sa profondeur, et, bien que la dissemblance des images rétiniennes et la variation de l'angle de convergence des yeux continue à augmenter, ces dimensions

en profondeur ne paraissent pas augmenter pour cela : on continue à avoir la perception de l'épaisseur vraie de l'objet, comparativement à sa hauteur et à sa largeur, et on ne lui attribue, à aucun moment, une forme plus allongée d'avant en arrière que celle qu'il a réellement.

En est-il de même quand on prend une photographie stéréoscopique de cet objet, à des distances de plus en plus petites à partir de celle pour laquelle l'examen de l'épreuve au stéréoscope donne la notion de la profondeur exacte? M. Colardeau a étudié méthodiquement cette question et a constaté qu'il n'en est pas ainsi. La dimension profondeur de l'objet paraît aller en augmentant, et dans l'examen stéréoscopique, cet objet finit par paraître beaucoup plus allongé d'avant en arrière qu'il ne l'est réellement. Une épreuve type, présentée aux Membres de la Société, montre nettement cet effet et permet de constater que l'objet examiné au stéréoscope (dessin tracé sur une calotte sphérique très surbaissée) paraît au moins deux ou trois fois plus épais qu'il ne l'est en réalité, par rapport à ses dimensions hauteur et largeur.

La conclusion toute naturelle de cette observation est que, pour avoir un relief correct quand on prendra une photographie stéréoscopique à courte distance, il faudra opérer avec un écart des objectifs plus petit que celui des yeux et qui devra décroître systématiquement à mesure qu'on opérera de plus près.

M. Colardeau décrit un banc stéréoscopique qu'il a imaginé pour réaliser ces conditions, même quand on ne dispose que d'un appareil photographique à écart d'objectifs fixe. En même temps cet appareil corrige l'inconvénient de décentrement des images par les objectifs droit et gauche, décentrement en vertu duquel la partie commune aux deux épreuves (la seule pour laquelle apparaît le relief) se réduit à une bande de plus en plus étroite dont la largeur peut même tomber à zéro quand on opère d'assez près.

La pièce essentielle de ce banc stéréoscopique consiste en une réglette le long de laquelle peut glisser l'appareil photographique. Cette réglette tourne autour d'un point situé derrière cet appareil. En tournant cette réglette d'un angle déterminé pour faire les deux poses avec les objectifs droit et gauche, on obtient le centrage des deux images à toute distance et l'on fait travailler les objectifs avec un écart fictif inférieur à leur écart réel sur la chambre noire. Cet écart fictif peut d'ailleurs être réglé à telle valeur que l'on veut en déplaçant le centre de rotation de la réglette. Un dispositif mécanique convenable permet de faire varier ce centre, depuis les objectifs jusqu'à l'infini, en arrière de l'appareil, et, par suite, d'obtenir, pour un objectif donné et à une distance donnée, tous les degrés de relief que l'on désire.

Des photographies stéréoscopiques d'un mouvement de montre obtenues avec cet appareil sont présentées aux membres de la Société. Elles donnent l'illusion d'une montre qui, tout en gardant un diamètre constant, prendrait une épaisseur variable de zéro à plusieurs centimètres. Parmi ces épreuves, l'une donne l'illusion correcte de l'épaisseur réelle de la montre : c'est celle qui a été prise avec un écart fictif des objectifs égal à 6^{mm} environ, la distance de la montre à l'appareil étant de 15^{cm}.

M. Colardeau cherche à expliquer la divergence qui se manifeste, au-dessous d'une certaine distance, entre la vision binoculaire directe et la vision stéréoscopique d'épreuves faites avec un appareil dont l'écart des objectifs est égal à celui des yeux. Il rappelle qu'en dehors des causes de perception du relief énoncées plus haut (dissemblance des images et variation de l'angle de convergence des yeux) il en existe bien d'autres, en particulier la variation du diamètre apparent des objets avec la distance, la distribution des ombres et des lumières, le recouvrement partiel réciproque des objets les uns par les autres, etc.

Dans un essai de reproduction artificielle du relief, il y aura évidemment intérêt à mettre en concordance toutes celles de ces causes qui peuvent intervenir. La disparition partielle ou complète de l'illusion du relief serait la conséquence de la discordance d'une ou de plusieurs de ces causes avec les autres.

Pour mettre tout ceci en évidence, M. Colardeau invoque comme exemple le phénomène de pseudoscopie ou de renversement de relief qu'on devrait théoriquement obtenir quand on place devant l'œil gauche, dans le stéréoscope, l'épreuve de l'œil droit et inversement. Pour la plupart des objets ainsi examinés pseudoscopiquement, il y a des contradictions entre les diverses causes de relief : ces contradictions peuvent ne pas être d'ailleurs les mêmes, suivant qu'on examine les épreuves négatives ou positives des mêmes sujets. Alors l'effet pseudoscopique est quelquefois nul : il est généralement partiel et ne s'applique qu'à quelques régions des épreuves; d'où un bouleversement général des avant-plans et des arrière-plans. Une épreuve stéréoscopique et pseudoscopique, imprimée en positif et en négatif, et représentant un couloir rocheux dans les gorges de l'Aar (Suisse), permet aux auditeurs de se rendre compte des différences d'aspect et de relief qui se manifestent ainsi par suite des contradictions dont on vient de parler. — On obtient, au contraire, un effet pseudoscopique parfait quand on prend comme sujet photographié un objet qui ne présente aucune de ces contradictions, par exemple un dessin tracé sur une surface sphérique. Le dessin dont il a été question plus haut dans la première épreuve présentée apparaît, dans ces conditions, comme s'il était tracé dans l'intérieur d'une demi-boule creuse.

La nécessité de la concordance des causes multiples qui interviennent dans la perception du relief étant ainsi expérimentalement démontrée, on s'explique plus facilement la divergence signalée plus haut entre la vision binoculaire directe d'un objet à courte distance et la vision stéréoscopique d'une épreuve prise avec un appareil dont les objectifs occupent la place des yeux. En effet, dans la vision binoculaire directe, on a des causes supplémentaires de perception du relief qui n'existent pas dans la vision stéréoscopique, en particulier l'accommodation de l'œil aux distances des divers plans de l'objet et le changement simultané d'aspect des deux images quand on déplace la tête à droite et à gauche. Ces deux causes supplémentaires acquièrent surtout une grande importance aux courtes distances, et tendent à s'effacer quand l'objet s'éloigne. Rien d'étonnant donc à ce fait, qu'aux courtes distances, la perception de l'épaisseur de l'objet soit moins complète avec le stéréoscope qu'avec la vision binoculaire directe, tandis qu'à des distances plus grandes le stéréoscope donnera l'illusion du relief réel.

Le banc photographique dont il vient d'être question permettant de reproduire stéréoscopiquement un même objet avec des épaisseurs apparentes variables, si l'on réalise une série d'épreuves satisfaisant à ces conditions et si on les fait défiler dans un cinématographe binoculaire, on aura l'illusion de l'allongement d'arrière en avant, puis d'avant en arrière de l'objet. Cette illusion de mouvement d'avant en arrière est très différente de celle des mouvements cinématographiques ordinaires qui ne se produisent qu'en hauteur et en largeur. Un cinématographe donnant bien nettement cette illusion est présenté à la Société. Pour compléter l'effet produit on a utilisé d'ailleurs, dans cet appareil, à la fois l'effet stéréoscopique et l'effet pseudoscopique, à l'aide d'un sujet convenablement choisi.

Après avoir présenté le stéréoscope comme un instrument qui peut faire voir les objets avec une forme différente de celle qu'on leur voit quand on les regarde directement, M. Colardeau cherche, dans la deuxième partie de sa Communication, à mettre en évidence la supériorité de cet appareil

sur la vision directe pour l'examen de certains objets particuliers qui sont précisément les photographies elles-mêmes.

Divers objets semblables, mais de grandeurs différentes, sont photographiés simultanément. Ils sont placés à des distances de l'appareil photographique qui sont entre elles comme les rapports de similitude de ces objets, de manière qu'ils soient tous vus sous le même angle. L'épreuve photographique examinée à l'œil nu les laisse tous croire absolument identiques, de même grandeur, et rangés côte à côte à la même distance; elle donne une impression absolument inexacte. Si, au contraire, cette épreuve est regardée au stéréoscope, grâce à la sensation de profondeur que donne cet appareil et à la variation de l'angle de convergence des yeux quand on passe de l'examen de l'objet le plus rapproché au plus éloigné, on reconstitue la vérité. Pour rendre l'impression exacte qu'on éprouve, il ne suffit même pas de dire que le stéréoscope fait juger l'objet le plus éloigné comme devant être le plus grand : il est plus exact de dire qu'elle le fait réellement *voir* plus grand, malgré l'identité de dimensions de son image rétinienne et de celle de l'objet le plus proche.

Une série d'épreuves représentant ainsi divers objets, les uns égaux, les autres inégaux, est présentée à la Société. Toutes ces épreuves, examinées à l'œil nu, ont un aspect absolument faux : elles laissent croire de grandeurs différentes des objets identiques, ou inversement. Dans la vision stéréoscopique de ces épreuves, la vérité se trouve rétablie.

Comme conséquence de ces faits, M. Colardeau est amené à signaler un inconvénient que peut avoir, dans l'exercice du dessin, l'habitude bien connue de prendre, à distance et à bras tendu, avec une réglette graduée, les mesures des dimensions relatives des divers objets à faire figurer sur le dessin. Une épreuve d'un dessin fait dans ces conditions est projetée : il a un aspect absolument contraire à la réalité. Un autre, fait par un dessinateur qui s'est astreint à ne pas prendre de mesures et à s'en rapporter à son seul jugement, donne bien, au contraire, l'impression des grandeurs relatives des objets qui y sont figurés.

Les contradictions et inexactitudes relevées sur les épreuves précédentes mettent finalement en évidence ce fait qui, d'ailleurs, a déjà été signalé bien souvent : dans la photographie plane, l'importance des premiers plans, au point de vue de la dimension des objets qui y figurent, est fortement augmentée, au détriment de celle des derniers plans, qui est fortement diminuée. La vision stéréoscopique rectifie ces défauts et rend naturelle une image qui, examinée à l'œil nu, serait inacceptable.

A l'appui de cette affirmation, M. Colardeau montre, non plus des épreuves faites avec des objets particuliers disposés à l'avance dans des positions déterminées, mais des épreuves prises dans une collection quelconque. Sur ces épreuves, vues à l'œil nu, des objets peu intéressants au premier plan envahissent la moitié de la surface totale de l'image, tandis que les derniers plans, qui contiennent la partie intéressante du sujet, passent à peu près inaperçus à cause de la dimension trop restreinte de leur image. Avec le stéréoscope, l'aspect de ces épreuves est tout à fait changé : spontanément, l'œil néglige les premiers plans pour aller chercher au fond de l'épreuve les particularités intéressantes du dernier plan. Ce fait est bien connu de tous ceux qui s'occupent de Stéréoscopie.

Il est un autre genre d'inexactitude que le stéréoscope corrige dans une épreuve photographique : c'est celle qui est due à une inclinaison très prononcée de l'axe de l'appareil, soit vers le haut, quand on prend une vue d'un monument élevé, soit vers le bas quand on prend une vue plongeante. Ces épreuves, d'aspect souvent inacceptable quand on les observe à l'œil nu, reprennent l'aspect vrai des objets, dans le stéréoscope, à la condition d'orienter celui-ci précisément sous l'inclinaison même qu'avait l'appareil photographique au moment où le sujet a été photographié. Ce

redressement a été tout particulièrement signalé par M. Richard lorsqu'il a présenté son Vérascope à la Société, il y a quelques années. M. Colardeau entre, à ce sujet, dans diverses explications qui permettent de se rendre compte de cet effet. Au moyen d'une série de vues faites dans ces conditions et d'un appareil annexé à un stéréoscope et permettant de mesurer son inclinaison, il montre qu'on peut rétablir instinctivement, et par la seule observation dans le stéréoscope, l'angle d'inclinaison qu'avait, vers le haut ou vers le bas, l'appareil photographique au moment où la vue a été prise.

Enfin M. Colardeau termine sa Communication en décrivant un stéréoscope classeur automatique (taxiphote) dont il a combiné le mécanisme avec la collaboration de M. Richard et dans lequel les membres de la Société peuvent examiner une série de photographies obtenues à l'aide du banc dont il a été question au début de la Communication.

M. Béclère rappelle les Travaux de MM. Th. Marie et Ribaut sur la radiographie stéréoscopique. Ces auteurs, guidés par les Travaux antérieurs de M. Cazes, ont dressé des Tables destinées à relier les distances des positions auxquelles il faut placer l'ampoule pour obtenir séparément les deux images stéréoscopiques. Plus les objets ont de l'épaisseur, plus les deux positions doivent être rapprochées.

M. Arnoux signale la sensation du relief que fournit le déroulement d'une pellicule cinématographique.

SÉANCE DU 21 MARS 1902.

Présidence de M. H. Poincaré.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Ames (Joseph-S.), Professor of Physics, Director of the Physical Laboratory, Johns Hopkins University Baltimore, Maryland (U. S. A.).
Barnes (Howard-Turner), Doctor of Sciences, Assistant-Professor of Physics, Dept. of Physics, Mc Gill University Montreal (Canada).
Bucherer (Alfred), Dr Phil. Privat docent de Physique à l'Université de Bonn (Allemagne).
Camman, à Marseille.
Cheneveau (C.) Préparateur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.
Ditisheim (Paul), Fabricant de chronomètres à la Chaux-de-Fonds (Suisse).
Dreyfuss (E.), Professeur agrégé au Lycée de Châteauroux.
Duffour, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
Lacroix (Paul), Directeur de la Cie universelle d'Acétylène, à Paris.
Mix (Edgar-W.), Ingénieur-Électricien, à Paris.

La magnétostriction des aciers au nickel; par MM. H. Nagaoka et K. Honda. — M. Guillaume expose, de la part de MM. Nagaoka et Honda,

professeurs à l'Université de Tokyo, les résultats de leurs recherches sur la magnétostriction des aciers au nickel, c'est-à-dire sur les changements de forme et de dimensions que ces alliages éprouvent sous l'action du champ magnétique.

Les échantillons sur lesquels ont porté ces études consistaient en fils de divers diamètres, ou en ovoïdes allongés, de 1^{cm} d'épaisseur maxima et de 20^{cm} de longueur. Ils étaient soumis au champ magnétique produit par une bobine dont les constantes sont les suivantes : longueur, 30^{cm}; diamètre, $3^{cm},2$; résistance, $0^{ohm},56$, $4\pi n = 379,7$. La bobine était enfermée dans une enveloppe à circulation d'eau; l'échauffement par le courant était, d'ailleurs, extrêmement faible, en raison de la faible résistance de la bobine, excepté pour des champs supérieurs à 1000 gauss environ.

Variations de longueur. — Ces variations étaient observées à l'aide d'un dispositif optique donnant une grande amplification.

L'alliage à 25 pour 100 de nickel, qui n'est pas sensiblement magnétique, n'a donné aucune variation appréciable. L'alliage à 29 pour 100, qui est sensiblement magnétique, varie graduellement avec le champ; l'alliage à 46 pour 100, qui est fortement magnétique, varie d'abord rapidement, mais s'approche bientôt d'une valeur limite, de l'ordre de 25 millionièmes de la longueur initiale. L'alliage à 36 pour 100 possède des propriétés intermédiaires. Les variations sont positives, alors qu'elles sont négatives dans le nickel, et que, dans le fer, elles sont d'abord faiblement positives puis négatives.

Dans les champs de l'ordre du champ terrestre, les changements sont inférieurs au dix-millionième.

Variations de volume. — L'ovoïde à étudier était enfermé dans un réservoir de verre scellé qu'on achevait de remplir avec de l'eau distillée. On observait les variations de volume par les déplacements du ménisque dans un tube de $0^{mm},4$ de diamètre.

Les variations trouvées pour tous les échantillons sont sensiblement proportionnelles au champ; pour 1700 gauss, elles sont respectivement de 51, 24 et 4 millionièmes pour les alliages à 29, 36 et 46 pour 100 de nickel, les plus fortes variations correspondant ainsi *à la plus faible perméabilité magnétique*. L'acier ordinaire ne donne qu'une variation de 1 millionième, et l'alliage à 25 pour 100 un changement encore beaucoup plus faible.

On remarquera que la dilatation thermique intervient très peu dans les phénomènes, puisque l'alliage à 36 pour 100, qui se dilate environ dix fois moins que ceux à 29 ou à 46, éprouve des variations intermédiaires sous l'action du champ magnétique.

Effet Wiedemann. — La torsion occasionnée par l'effet simultané d'un champ longitudinal et d'un champ circulaire produit par un courant parcourant le fil était déterminée à l'aide d'un miroir fixé à la partie inférieure d'un fil de 21^{cm}, suspendu dans la bobine. Le sens des variations observées, pour les alliages à 23, 39 et 45 pour 100, est le même que pour le fer, c'est-à-dire que, pour un courant descendant et un pôle nord situé au sommet de la bobine, les rotations vues d'en haut se produisent dans le sens contraire du mouvement des aiguilles d'une montre. Pour un même courant, les champs faibles produisent une rotation qui va rapidement en croissant, passe par un maximum et décroît ensuite lentement.

Fils sous traction. — Des expériences faites par M. Honda, avec la collaboration de M. Shunizu, ont montré que les variations de longueur produites par le magnétisme dans des fils d'acier-nickel soumis à une traction

longitudinale diminuent à mesure que la traction augmente. Pour des charges telles que l'on approche de la limite élestique, on observe une contraction dans les champs faibles et un allongement dans les champs intenses. Le caractère de ces variations est semblable à celui que l'on observe dans le cobalt.

M. Guillaume ajoute à cet exposé les remarques suivantes :

La petitesse des variations observées autoriserait à penser que les résultats obtenus par MM. Nagaoka et Honda ont pu être affectés d'une façon appréciable par des phénomènes purement thermiques. L'application du principe de Carnot aux corps dont la susceptibilité magnétique est variable avec la température montre, en effet, que pour ces corps tout changement positif du champ magnétisant doit être accompagné d'une élévation de la température.

Toutefois, une discussion serrée des résultats, faite en tenant compte à la fois de l'ordre de grandeur des changements thermiques et de la dilatabilité très diverse de ces alliages, conduit à penser que, si les mesures avaient été sensiblement faussées par des variations de la température, les nombres fournis par l'expérience devraient avoir une tout autre allure.

La magnétostriction semblait devoir fournir immédiatement un moyen de décider entre les diverses théories émises pour expliquer les singulières anomalies des alliages de fer et de nickel. Les changements produits par des champs de moyenne intensité étant positifs dans le fer et négatifs dans le nickel, il semblait que l'on pourrait indiquer sûrement, par la nature des variations de leurs alliages, la cause des propriétés magnétiques de ceux-ci.

Parmi les théories de transformation des alliages de fer et de nickel, la plus récente, émise par M. L. Dumas, semble être aussi celle qui serre de plus près les phénomènes observés. Partant de nombreuses expériences personnelles, M. Dumas a été conduit à admettre que, dans les ferronickels à faible teneur en nickel, le magnétisme appartient exclusivement au fer et s'élimine peu à peu, par abaissement irréversible, dans l'échelle des températures, de la région de transformation. Au contraire, dans les hautes teneurs, le magnétisme, de nature réversible, c'est-à-dire non doué d'hystérèse, appartiendrait uniquement au nickel. Ainsi, dans tous les alliages magnétiques à la température ordinaire, et dont la teneur est supérieure à 25 pour 100 de nickel, on devrait retrouver la plupart des qualités magnétiques du nickel pur, simplement atténuées.

L'inspection des résultats de MM. Nagaoka et Honda est, à première vue, très décevante, et la conclusion immédiate semblerait devoir être le rejet de la théorie de M. Dumas, les variations observées dans les alliages réversibles étant positives, alors qu'elles sont négatives dans le nickel. Cependant, cette théorie est si satisfaisante à d'autres égards qu'il convient de rechercher si, même au prix d'une nouvelle hypothèse, il n'est pas possible de la mettre d'accord avec les résultats d'observation.

L'hypothèse suffisante pour établir cet accord peut paraître bien naturelle. M. Guillaume a montré qu'il existe des relations très étroites entre les variations magnétiques et les changements de volume des ferro-nickels, toute augmentation de la susceptibilité étant accompagnée d'une augmentation du volume moléculaire. En général, l'augmentation des propriétés magnétiques, due à une transformation moléculaire, se produit par l'abaissement de la température, mais peut être engendrée aussi par tout effort mécanique. Si l'on suppose que, sous l'action d'un champ magnétique, l'état de transformation puisse aussi être augmenté à température constante, on devra observer une augmentation du volume, conformément aux résultats obtenus par MM. Nagaoka et Honda.

On devra s'attendre aussi à ce que le changement magnétique soit d'au-

tant plus intense que l'on se trouvera plus près de la région de rapide transformation. La variation de volume devra alors être maxima pour les alliages contenant de 28 à 30 pour 100 de nickel, conformément aux résultats de l'expérience.

M. Guillaume mentionne enfin les objections faites par M. Osmond à la théorie de M. Dumas. M. Osmond pense que l'hypothèse de l'existence du nickel comme seul métal magnétique dans les aciers réversibles, le fer s'y trouvant à l'état gamma, est incompatible avec le magnétisme élevé de certains d'entre eux, aussi bien qu'avec l'augmentation de volume accompagnant le passage de l'état non magnétique à l'état magnétique. Suivant M. Osmond, la transformation du fer gamma en fer alpha est la seule, parmi celles que l'on peut prévoir dans le mélange, qui donne lieu à cette augmentation à température descendante. M. Osmond serait plutôt partisan d'une explication fondée sur les transformations du fer ou d'une combinaison $Fe\,Ni^2$.

Sur la Stéréoscopie et le relief des ombres; par M. Guilloz. — M. Guilloz étudie la façon dont on voit les ombres en radiographie stéréoscopique. Il applique au point de vue expérimental le principe ordinaire; des œillères sont découvertes pour chaque œil en même temps que le tube dont il doit voir l'effet est excité. M. Guilloz montre alors que, si les deux anticathodes sont à la même distance l'une de l'autre que les deux yeux de l'observateur, et si chaque œil est découvert en même temps qu'on excite le tube placé de son côté, on voit une image en relief exactement symétrique de l'objet qui porte ombre, si l'écran est normal aux lignes qui joignent chaque œil au tube correspondant. En déplaçant un double décimètre dans cette image virtuelle, on peut prendre des mesures exactes, comme on peut mesurer un objet en regardant son image dans une glace demi-argentée, en même temps qu'on déplace un double décimètre dans l'image virtuelle. On juge parfaitement de la coïncidence des points de l'image avec ceux du double décimètre quand on a une bonne vision binoculaire. Quand des erreurs se produisent, c'est que la vision binoculaire est troublée. M. Guilloz indique quelques-unes des illusions que l'on observe dans ce cas.

Il réalise une expérience de démonstration en portant deux ombres d'un même objet au moyen d'une lampe rouge et d'une verte, et en armant les yeux respectivement des verres convenables pour qu'ils voient seulement l'ombre qui leur convient.

Les résultats sont absolument conformes à ceux que donne la radiographie stéréoscopique.

On peut aussi monter l'expérience croisée en laissant voir à chaque œil l'ombre portée par la source en diagonale. Dans ce cas on restitue une image ayant un relief dans le même sens que celle qu'on regarde, mais avec des déformations angulaires.

M. Guilloz décrit ensuite les dispositifs qu'il a employés pour exciter les tubes. Le plus remarquable est celui d'un tube à deux électrodes planes en chrome, qui donnent bien des rayons X un peu moins bons que le platine, mais qui peuvent fonctionner à la fois comme cathode sans s'évaporer, et comme anticathode sans fondre.

Au sujet de la Communication précédente, M. P. Villard fait connaître deux solutions qu'il a imaginées du problème de l'ampoule stéréoradioscopique :

1° L'ampoule est construite comme à l'ordinaire, sauf que l'anticathode présente une assez grande longueur dans la direction perpendiculaire au plan de symétrie de l'ampoule. Au moyen du *redresseur*

cathodique antérieurement décrit, on envoie dans l'appareil les décharges redressées du transformateur à haut voltage (*Journal de Physique*, janvier 1901) ou d'une bobine de Ruhmkorff alimentée par un courant alternatif et munie d'un interrupteur rompant le courant sur toutes les alternances. Un petit électro-aimant alternatif placé au voisinage de l'ampoule dévie les faisceaux cathodiques alternativement à droite et à gauche du plan de symétrie et détermine ainsi sur l'anticathode deux foyers alternants de rayons X. La vision se fait au travers d'un stroboscope synchrone. Ce dispositif, qui peut d'ailleurs s'employer avec une source électrique continue, assure l'égalité constante des deux foyers d'émission, permet d'en faire varier l'écartement dans la mesure nécessaire ([1]), et l'on a l'avantage de pouvoir employer une anticathode en platine iridié comme dans les ampoules ordinaires. On peut également, tout en conservant le même principe, constituer l'anticathode par deux lames disposées en échelons. Une déviation très faible des faisceaux suffit pour que les foyers alternants se forment chacun sur un échelon, et la dispersion cathodique est ainsi considérablement réduite.

2° Les décharges alternatives obtenues comme précédemment sont dirigées dans une ampoule munie de deux cathodes opposées entre lesquelles est une anticathode double sur laquelle se forment les deux foyers alternants (que l'on peut rapprocher ou écarter légèrement au moyen de deux demi-bagues aimantées placées derrière les cathodes). Cette disposition serait toutefois insuffisante : l'anticathode n'étant pas anode noircit l'ampoule, et la production des rayons est médiocre. On y remédie par l'addition d'une électrode supplémentaire *que l'on relie au pôle négatif d'une source électrique auxiliaire* telle qu'une machine statique ou une dérivation prise sur le transformateur par l'intermédiaire d'un des condensateurs et d'un redresseur. Le pôle positif de cette deuxième source est relié à l'anticathode. Dans ces conditions, les deux sources électriques se mettent d'elles-mêmes en série, phénomène qui n'est peut-être pas sans intérêt au point de vue théorique, la production des rayons X augmente notablement, et le noircissement de l'ampoule est évité.

L'Éclairage électrique par lampes à incandescence à filaments de carbone et sur le système économiseur Weissmann-Wydts; par M. G. Weissmann. — Le rendement lumineux des filaments de 100 à 200 volts généralement utilisés sur les réseaux de distribution d'énergie est inférieur de beaucoup au maximum absolu de rendement lumineux que l'on peut tirer des filaments en carbone. Dans les limites des intensités lumineuses courantes, 5, 10 et 16 bougies, ces filaments de 100 à 200 volts sont extrêmement fins; le diamètre du filament de la lampe de 100 volts 5 bougies est même le minimum de diamètre que l'on puisse atteindre, puisque les lampes de 100 volts inférieures à 5 bougies sont irréalisables.

Or il existe une relation bien marquée entre le rendement lumineux et le diamètre des filaments.

En prenant pour type la courbe de variation d'intensité lumineuse avec la durée d'une lampe déterminée, celle des lampes de 110 volts 16 bougies fonctionnant sur courant de distribution par exemple, on n'obtient une courbe sensiblement identique avec les lampes d'intensité lumineuse inférieure qu'en les faisant fonctionner pour la lampe de 110 volts 10 bougies à 4 watts par bougie pour la lampe de 110 volts 5 bougies à 5 watts par bougie.

([1]) Cet écartement est toujours inférieur à la distance des yeux (65^{mm}), l'ampoule étant plus près de l'objet qu'on ne se placerait pour le regarder directement.

La même courbe s'obtient au contraire pour les lampes d'intensité supérieure avec une consommation bien moindre :

	3	watts seulement	pour	la lampe	de	110 volts	32 bougies	
	2,5	»	»	»	»	110 »	50	»
1,8 watts à	2	»	»	»	»	110 »	100	»

Ces chiffres font ressortir très nettement que pour une tension définie, 110 volts par exemple, le rendement lumineux le plus grand correspond au filament établi pour l'intensité lumineuse la plus élevée, c'est-à-dire au filament le plus gros.

M. Weissmann explique comme suit la cause de la différence de rendement entre les filaments fins et les filaments gros dont le diamètre ne dépasse pas l'épaisseur limite du rayonnement du carbone.

Les filaments rayonnant, ainsi qu'il est acquis, par leur masse, leur rendement ne dépend que de leur température moyenne. Or ce qui limite le degré d'incandescence d'un filament, c'est uniquement sa température extérieure. puisque c'est à l'extérieur seulement que peut se produire la désagrégation, siège du bombardement moléculaire. Mais à égalité de température extérieure, c'est-à-dire à égalité de risques de désagrégation, la température moyenne des filaments fins est approximativement égale à celle de la périphérie: la température moyenne des filaments gros est, au contraire, d'autant plus élevée que le diamètre est plus gros, la température croissant elle-même du bord au centre du filament. Il rappelle aussi que le volant de chaleur que présentent les filaments gros donne à ceux-ci une supériorité sur les filaments fins.

Le système économiseur imaginé par M. Weissmann en collaboration avec M. Blondel doit être envisagé comme un système permettant de se servir, sur les réseaux de distribution et quelle que soit la tension de distribution, de filaments gros, c'est-à-dire à rendement élevé pour les lampes d'intensité lumineuse courante.

Il consiste à interposer entre *chaque* groupe de lampes et l'interrupteur d'allumage qui commande directement ce groupe un tout petit transformateur qui abaisse la tension de distribution au degré voulu, l'interrupteur étant disposé sur le primaire du transformateur de manière à retirer celui-ci en circuit en même temps que les lampes. La tension de distribution étant abaissée, on peut ainsi substituer, par exemple, à des lampes de 110 volts 10 bougies à filaments fins consommant 4 watts par bougie des lampes de 10 bougies, de 22 volts, dont le filament est le cinquième du filament de 110 volts 50 bougies et ne consommant comme celui-ci que 2,5 watts par bougie au lieu de 4 watts.

On peut aussi, par ce système, employer des lampes dont le filament est, par exemple, le cinquième d'un filament de 110 volts 5 bougies, c'est-à-dire de 22 volts *une bougie,* alors que les lampes de 110 volts inférieures à 5 bougies sont irréalisables. M. Weissmann reviendra ultérieurement sur la question des petits transformateurs qu'il a établis tout spécialement par ce système et qui, quoique de dimensions très réduites, $10^{cm} \times 10^{cm} \times 5^{cm}$ à 6^{cm}, ont un excellent rendement variant de 91 à 97 pour 100 pour des puissances de 30 à 300 watts seulement.

Il fait observer que ce système ne peut produire de décalage, attendu que les petits transformateurs employés travaillent toujours à pleine charge et sont retirés du circuit en même temps que les lampes qu'ils desservent.

Plusieurs milliers de lampes sont déjà installées à Paris sur le principe de ce système et donnent depuis 8 mois déjà d'excellents résultats.

SÉANCE ANNUELLE.

VENDREDI 4 ET SAMEDI 5 AVRIL 1902,

à 8 heures du soir.

EXPOSITION.

Éclairage de l'entrée au moyen d'appareils intensifs à gaz acétylène de la « Compagnie universelle d'Acétylène ».

— du péristyle par les appareils de la « Compagnie universelle d'Acétylène ».

— de la salle du rez-de-chaussée par la Compagnie française de l'Acétylène dissous.

— de la salle du Conseil par l'économiseur électrique (Système Weissmann et Wydts).

— de l'escalier et de la salle d'entrée avec les nouvelles lampes à arc pour courant alternatif de M. H. Cuénod.

— de la grande salle avec des lampes Nernst montées sur le lustre central.

Série de radiographies stéréoscopiques.................... **M. Béclère.**

Radiochromomètre et lunette radiochromométrique pour la définition expérimentale des diverses sortes de rayons X, et des diverses ampoules radiogènes.................... **M. L. Benoist.**

Série de petites dynamos, moteurs électriques et galvanomètres.................... **M. J. Blondeau.**

Enregistreurs divers et chronographes.................... **M. A. Blondel.**

Miroir tournant à très grande vitesse. — Téléphone à courants de Foucault pour haute fréquence.................... **MM. Blondel et G. Ferrié.**

Pompes pour massage pneumatique médical.................... **M. Breuillard.**

Appareil pour l'étude de la sensation lumineuse en fonction du temps.................... **MM. A. Broca et Sulzer.**

Echantillons de brique naturelle cuite par des coulées de lave sur lesquelles l'aimantation a été étudiée.................... **M. B. Brunhes.**

Action mécanique de la gélatine sur le verre et différentes substances .... **M. Cailletet.**

Potentiomètre pour mesures de forces électromotrices depuis $\frac{1}{100000}$ de volt jusqu'à 600 volts. — Pyromètre à lecture directe. — Enregistreur Callendar pour diverses applications : pyromètre, potentiomètre, etc. — Perméamètre pour l'étude magnétique du fer. — Oscillographe de M. **Blondel.** — Rhéographe de M. **Abraham.** — Observation directe de courants alternatifs avec ces instruments et décomposition des courbes par la méthode de résonance. — Grande bobine de self-induction variable. — Manographe **Hospitalier** et **Carpentier** pour l'observation des diagrammes des moteurs à explosion. — Bobine avec rupture **J. Carpentier**, étincelles de 35cm. — Bobine d'inflammation avec rupture **J. Carpentier.** M. **J. Carpentier.**

Tableau de photographies d'un certain nombre d'expériences sur les vibrations des nappes liquides de formes déterminées. MM. **Cartaud** et **C. Chéneveau.**

Replenisher (modifications de M. **Thomas**). — Electromètre à filament de charbon (modèle de M. **Villard**). — Radiochromomètre de M. **L. Benoist.** — Lunette radiochromométrique de M. **L. Benoist.** — Interrupteur à mercure de M. **Villard** pour courants alternatifs, employé à la production de courants redressés discontinus et simultanément à la production de courants continus (application à l'alimentation d'un arc au mercure dans le vide). — Arc au mercure modifié par M. **Le Chatelier.** — Tubes divers pour l'étude des rayons cathodiques. — Instruments divers .... M. **V. Chabaud.**

Lunette pour instrument de topographie (gross. 35) munie d'un viseur-chercheur nouveau.......................... M. **Champigny.**

Courbes de dilatation aux températures élevées des aciers et des aciers au nickel.......................... MM. **Charpy** et **Grenet.**

Compas **Schwarzbard** pour tracer une infinité de courbes de la famille des roulettes, ou dérivant de celles-ci par une loi simple; construit par.......................... MM. **E.** et **C. Chateau.**

Collection de photographies en couleurs, obtenues à l'aide du vérascope, par le procédé trichrome. Epreuves stéréoscopiques à relief variable. Appareil donnant une illusion cinématographique dérivée d'un effet stéréoscopique ...... M. **E. Colardeau.**

Balance aérothermique de précision comportant un cavalier unique avec vernier donnant les trois dernières décimales. M. **A. Collot.**

Soudure autogène par le chalumeau oxyacétylénique........ **Cie Française de l'acétylène dissous.**

Cascade lumineuse électrique, système **Judic.** — Interrupteurs, coupe-circuits, conjoncteur-disjoncteur. — Appareillage pour courant à 220 volts, etc., etc. .... **Cie Française d'appareillage électrique**, anciens établ. **Grivolas et Sage et Grillet.**

Applications domestiques, industrielles et médicales du chauffage électrique .... **Cie générale de chauffage par l'électricité.**

Appareils d'éclairage et de chauffage (système **Capelle-Lacroix**). — Appareil doseur, mélangeur de gaz (système **Molet-Boistelle**). — Nouveaux appareils générateurs d'oxygène .... **Cie universelle d'acétylène.**

Appareils médicaux de chaleur radiante lumineuse. .... **The Dowsing Radiant Heat Ce Ld.**

Galvanomètre électrodynamomètre. — Electromètre absolu. — Relais électrostatique .... **M. V. Crémieu.**

Nouvelles lampes à arc pour courant alternatif. — Nouveau réducteur d'accumulateur, système **Thury** (charge à main, décharge automatique). — Moteurs, appareils, pièces détachées, etc., fabriqués d'après des procédés mécaniques.... **M. H. Cuénod.**

Substances radioactives. — Phosphorescence par radioactivité induite du verre, du sulfure de zinc phosphorescent de **M. Verneuil** .... **M. et Mme Curie et M. Debierne.**

Horizon gyroscopique dont le mouvement est entretenu électriquement. — Balance d'analyse à chaîne remplaçant les petits poids (petit modèle). — Centrifugeur à grande vitesse, modèle adopté par M. **Miquel** .... **M. A. Démichel.**

Tropomètre ou chronomètre décimal pour la détermination des longitudes en mer. — Chronomètre de bord muni d'un balancier système **Guillaume** pour la correction de l'erreur secondaire de compensation. .... **M. P. Ditisheim.**

Piles endoxiques **O'K** .... **M. Ch. Dobilly.**

Oscillographes bifilaires et chronographes **Blondel** .... **M. G. Dobkevitch.**

Machine statique genre Wimshurst à 6 plateaux dont la rotation est assurée par une courroie unique et sans fin, sans aucun croisement de courroie, soit qu'elle fonctionne au moteur ou à la manivelle. Cette machine est disposée pour l'emploi médical ou pour la production des rayons X. — Siège pour l'examen radioscopique et la radiographie du malade assis .... **M. L. Drault.**

Téléphone haut-parleur de M. le lieutenant de vaisseau **R. Gaillard.** Type de la marine, il remplace les porte-voix, les tuyaux acoustiques et les transmetteurs d'ordres dans tous les services du navire. — Téléphone haut-parleur, type **R. Gaillard** et **E. Ducretet**, même usage pour les services privés, paquebots, chemins de fer, postes d'aiguilleurs, services des pompiers, téléphonie militaire. — Téléphone haut-parleur pour les grandes distances. Postes complets. — Microphone **R. Gaillard** et **E. Ducretet.** Le plus puissant des microphones, employé avec les haut-parleurs ci-dessus. Ce puissant microphone, indéréglable, peut actionner simultanément plusieurs postes téléphoniques haut-parleurs ou ordinaires. Il convient à la télé-

phonie aux très grandes distances, à la téléphonie sans fil par la terre, aux expériences de l'arc électrique chantant. — Ce microphone s'adapte très rapidement à tous les postes téléphoniques en usage courant. — Télégraphie sans fil aux grandes distances types **Popoff-Ducretet** 1901-1902. — Radioconducteurs à aiguilles (**Popoff-Ducretet**) fixes et très sensibles. — Relais électriques de très grande sensibilité. — Télégraphone **V. Poulsen**.......... M. **E. Ducretet.**

Radiateur chimique **Foveau-Trouvé.** — Radiateur chimique **Foveau-Noé.** — Etuve électrique **Foveau de Courmelles**, construite par MM. **Parvillé frères**..................... M. **Foveau de Courmelles.**

Nouveaux types d'accumulateurs électriques.............. M. **A. Fredet.**

Machine statique à grande vitesse et grand débit. — Courants de haute fréquence et rayons X produits par l'électricité statique. — Commutatrice de faible puissance............ M. **G. Gaiffe.**

Projections cinématographiques. — Nouveaux modèles d'appareils photographiques.................................. MM. **L. Gaumont et Cie.**

Nouveaux fantômes électriques (matériaux pour servir à l'étude des relations entre les phénomènes électrostatiques, électrodynamiques et électromagnétiques)...... .... M. **R. Godefroy.**

Appareils pour la radioscopie stéréoscopique............... M. **Guilloz.**

Appareil récepteur pour la télégraphie sans fil............. M. **Herzog.**

Ondographe. — Courbes ondographiques. — Télétachymètre. — Arcoscope. — Expériences électro-stroboscopiques..... M. **E. Hospitalier.**

Manographe.. MM. **E. Hospitalier et Carpentier.**

Appareils de mesures électriques.......................... MM. **Japy frères et Cie.**

Ampèremètre électrolytique. — Pyromètre à écoulement de gaz.. M. **A. Job.**

Interféromètre de MM. **Perot** et **Fabry**, pour la mesure des longueurs d'ondes, l'examen des radiations au point de vue de la finesse des raies et de leur complexité, la mesure des longueurs en fonction de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, soit directement, soit par l'emploi des franges blanches de superposition. — Etalon optique d'épaisseur de 5^{mm} pour usage métrologique et spectroscopique de MM. **Perot** et **Fabry**. — Appareil de MM. **Perot** et **Fabry** pour la mesure interférentielle des faibles épaisseurs, avec lames demi-argentées, faisant lame d'air mince : 1 exemplaire exposé pour 100^{μ} à 150^{μ}; 1 exemplaire exposé pour 20^{μ} à 50^{μ}. — Lanterne pour l'emploi de l'arc au mercure de MM. **Perot** et **Fabry**, avec prise de lumière par en dessus et par côté, avec lentille de projection. — Etalon optique d'épaisseur de 20^{mm}; exemplaire de la série d'étalons construits pour le **Bureau interna-**

tional des Poids et Mesures, destinés à la mesure du mètre en longueur d'onde par la méthode de **Perot** et **Fabry**. — Spectroscope à vision directe de **Thollon**. — Spectroscope à deux prismes de 60° avec mouvement automatique pour maintenir le minimum de déviation...... M. **A. Jobin**.

Diapasons pour l'étude des deux limites des sons perceptibles. — Méthode des poussières légères ou de Kundt pour la longueur d'onde des sons très aigus........................ M. **J. Lancelot**.

Interrupteur-dérivation pour bobines d'induction. — Interrupteur-pilon pour postes transmetteurs de télégraphie sans fil. — Interrupteur-turbine (sans mercure) pour grandes bobines d'induction, pouvant fonctionner sur courant de 20 volts à 200 volts et à fréquences variant à volonté, depuis 600 à 12000 par minute. — Installation radiographique et radioscopique, grand modèle de luxe, avec interrupteur turbine. — Bobines unipolaires et bipolaires pour la télégraphie sans fil. — Appareil pour la production intensive de l'ozone, au moyen de l'interrupteur-turbine. — Radioscopie intensive au moyen de l'interrupteur-turbine permettant l'observation directe des battements du cœur (expériences)........................ MM. **Lecarme** frères et **Michel**.

Appareil de démonstration de la cohésion des liquides...... MM. **A. Leduc** et **Sacerdote**.

Tableaux de photographies représentant quelques résultats des recherches expérimentales sur les figures de diffusion.. M. **Stéphane Leduc**.

Mesure de l'acuité auditive........... .. .. M. **Marage**.

Les mouvements de l'air étudiés par la photographie........ M. **Marey**.

Pluviomètre enregistreur....................................... MM. **Meunier** et **Rolland**.

Soupape électrique, redresseur-condensateur pour la transformation des courants alternatifs simples polyphasés en courants continus.. M. **A. Nodon**.

Tableaux de photographies relatives à l'écoulement des corps solides et liquides.................................. M. **Osmond**.

Dispositif pour rendre visibles les tubes de force d'un champ magnétique par le flux cathodique d'un tube de Geissler. — Appareil permettant d'employer la méthode de Poggendorff avec de très petits miroirs.......................... M. **H. Pellat**.

Lunette de M. **Pellat** pour l'observation facile des échelles micrométriques réfléchies par de très petits miroirs. — Réfractomètre de M. **Wallerant** pour les cristaux microscopiques englobés au milieu d'autres. — Spectrophotomètre de M. **Camichel**. — Réfractomètre universel et de précision de M. **Ch. Féry**, donnant directement, par simple lecture, les indices des liquides compris entre 1,33 et 1,65. — Microscope de M. **Le Chatelier** avec dispositif d'agrandissement photographique par l'oculaire à projection. — Pyromètre

et galvanomètre de M. **Le Chatelier**. — Lucimètre de M. **Bordier**. — Appareil de M. **Cotton** pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques. — Spectroscope de M. **Cornu**, à échelle variable de M. **A. de Gramont**. — Spectroscope de M. **Yvon**. — Spectroscope à réseau photographique de **Thorp**. — Photomètre à vision binoculaire. — Hémaspectroscopes et urospectroscopes de M. **A. Hénocque**. — Glycosimètre **Yvon-Pellin**. — Lunette viseur modèle **Ph. Pellin**. — Appareils divers. — Métroradioscope de M. **Contremoulins**. — Figures stéréoscopiques du campylographe du R. P. **Dechevrens**. — Lanterne à projection à charbons inclinés (modèle en service au Conservatoire des Arts et Métiers.) — Projections du spectre des raies du fer avec les charbons (actino-carbone) de **A. Broca** et **Ph. Pellin**. — Expériences diverses .... **M. Ph. Pellin.** (Successeur de J. Duboscq.

Appareils de haute fréquence. — Expériences de projections réalisables avec un nouvel appareil universel destiné à l'enseignement secondaire. — Appareils de radiographie de précision. — Laryngoscope **Lombard-Molteni**. — Appareil de photothérapie de M. **Marie**. — Dilatoscope **Guillaume**. — Locomotive P.-L.-M. coupe-vent, modèle en réduction étudié pour l'enseignement .... **MM. Radiguet et Massiot.**

Baromètre de gravité donnant 20^{mm} par millimètre de mercure, avec remise au point automatique par servo-moteur électrique. — Chronographe de précision à changement de vitesse. — Perfectionnements dans les enregistreurs de la direction et de la vitesse du vent. — Météorographe en aluminium, nouveau modèle, pour ballons-sondes ou cerfs-volants. — Statoscope indiquant instantanément le sens du déplacement des ballons. — Nouveaux indicateurs et enregistreurs instantanés de la variation de vitesse des arbres et machines. — Enregistreur de flèches de pont, système **Rabut**. perfectionné. — Enregistreur d'angles de barre et enregistreur d'immersion et d'assiette pour bateaux sous-marins. — Ampèremètres et voltmètres à cadre mobile, nouveau système. — Voltmètre thermique enregistreur, à cadran. — Wattmètre pour courants alternatifs simples et polyphasés. — Perfectionnements apportés au vérascope. — Nouveau stéréoscope de poche. — Diapositifs et agrandissements. — Le Taxiphote, stéréoscope classeur distributeur automatique. — Banc pour la stéréophotographie à courte distance : ces deux derniers appareils, en collaboration avec M. **Colardeau** .... **M. Jules Richard**

Alterno-redresseur .... **MM. Rougé et Faget.**

Machine électrostatique actionnée par un courant alternatif de 110 volts. — Modèle de l'excitateur universel pour franklinisation et haute fréquence de M. **Bergonié**. — Modèle de l'excitateur rectal pour franklinisation hertzienne de M. **Bordier** .... **M. Roycourt**, successeur de M. Bonetti.

Cœlostat. — Théodolite .... **M. G. Secrétan.**

Appareil de M. **René Leblanc** pour démontrer la loi de Mariotte et le principe de Torricelli. — Nouvelle machine pneumatique. — Petits accumulateurs de laboratoire. —

Four Paris, hautes températures. — Pince **Lebègue** pour développer, fixer, laver les plaques photographiques. — Radiographies par le radium .... **Société centrale de Produits chimiques.**

Appareils de chauffage par l'électricité. — Appareils électrothermiques pour usages médicaux. — Nouvelles lampes de chauffage à l'air libre. — Chaufferettes pour voitures de chemins de fer électriques et de tramways électriques..... **Société anonyme des** ***anciens Établissements*** **Parvillée frères et Cie.**

Nouveau compteur **Thomson**. — Compteurs **O'K**. — Compteurs à courants alternatifs triphasés .... **Société pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz.**

Types d'accumulateurs **Tudor** .... **Société française de l'accumulateur Tudor.**

Radiateurs diffuseurs pour lampes électriques à arc .... **Société des radiateurs diffuseurs.**

Dispositifs pour l'étude du champ hertzien ordinaire et interférent. — Emploi du résonateur à coupure disposé dans l'air ou dans le vide. — Interrupteur inverseur ayant des applications à la radioscopie stéréoscopique. — *Appareils construits* par M. **O. Rochefort** .... **M. A. Turpain.**

Éclairage électrique par lampes à incandescence à filaments de carbone. — Système économiseur **Weissmann-Wydts**.. **M. G. Weissmann.**

COMMUNICATIONS.

RÉUNIONS DES 4 ET 5 AVRIL 1902.

Expériences nouvelles sur l'arc électrique : arc téléphonique de Simon; *arc chantant de* Duddell, par M. P. Janet.

M. P. Janet présente les expériences nouvelles de Simon et de Duddell sur l'arc voltaïque.

1° *Arc téléphonique de Simon.* — Si l'on superpose au courant principal, dans un arc à courant continu, le faible courant alternatif provenant d'un microphone ordinaire, l'arc peut servir de récepteur téléphonique. La disposition primitivement employée par Simon est la suivante : le courant du microphone est envoyé dans l'un des enroulements d'une

bobine d'induction dont l'autre enroulement, à gros fil, est placé en série sur le circuit principal. On peut d'ailleurs varier de beaucoup de manières la disposition employée; en particulier, on peut faire agir le microphone sur l'arc par l'intermédiaire d'un condensateur et d'une ou de deux bobines d'induction; c'est la disposition qui a été adoptée à la séance.

On obtient des sons d'autant plus intenses que l'on emploie un microphone pouvant supporter un courant intense (1 à 2 ampères) et des charbons très conducteurs (par exemple chargés de sels) qui donnent un arc très long.

2° *Arc chantant de Duddell.* — Si, sur un arc ordinaire à courant continu entre charbons homogènes, on met en dérivation un circuit comprenant un condensateur et une bobine de self-induction, pour un réglage convenable de l'arc, on obtient un son dont la période est déterminée par la formule de résonance

$$T = 2\pi\sqrt{CL}$$

et en même temps le circuit dérivé est traversé par un courant de même période.

En calculant convenablement les capacités pour une bobine donnée, on peut faire rendre à l'arc les notes successives de la gamme. M. P. Janet réalise l'expérience au moyen d'un clavier approprié.

L'influence de la self-induction peut se montrer en enfonçant un noyau de fil de fer dans la bobine; le son baisse; toutefois si l'on enfonce trop le noyau, le son s'éteint : cela est dû probablement à ce que la dépense d'énergie par hystérésis devient trop grande.

Si au contraire on enfonce dans la bobine une autre bobine en court-circuit, le son monte, une induction mutuelle étant équivalente à une diminution apparente de la self-induction.

On peut utiliser comme bobine un cerceau d'enfant comprenant 6 spires; dans ce cas, un second cerceau semblable au premier et comprenant 20 spires donne, quand on l'approche du premier, des effets très notables d'induction mutuelle; en particulier on peut, dans ce circuit secondaire, allumer à distance une lampe de 5 bougies, 110 volts; c'est un moyen très commode de reproduire les effets de la haute fréquence.

L'expérience réussit également bien si l'on alimente l'arc avec un courant alternatif de fréquence 42 (secteur de la Rive gauche), la fréquence des oscillations obtenues étant très grande par rapport à celle-là.

L'arc à courant continu entre électrodes de cuivre rend, dans les mêmes circonstances, non pas un son, mais une sorte de souffle très léger et très constant dont la hauteur est celle du son qu'on aurait obtenu avec des charbons homogènes.

Si, sur un réseau de conducteurs où se trouve déjà un arc chantant, on monte un autre arc à la manière ordinaire, c'est-à-dire sans circuit dérivé, il se met à chanter à l'unisson du premier, et dans ce cas, même avec des électrodes métalliques, on obtient un son très intense.

Ce moyen simple d'obtenir deux sources sonores exactement à l'unisson pourra sans doute trouver son application dans certaines expériences d'acoustique, en particulier dans les expériences d'interférence.

Étude expérimentale de l'excitateur de Hertz; par M. R. Swyngedauw. — Toute décharge de condensateur comprend en circuit une étincelle dont l'influence sur la forme de la décharge est d'autant plus considérable que la capacité du condensateur est plus petite. L'étincelle n'étant conductrice que par suite de l'échauffement par la décharge elle-même, une partie de l'énergie disponible dans le circuit est dépensée avant que les oscillations se produisent. La première oscillation a toujours une durée

plus grande que la suivante, pour toutes les décharges, quelle que soit la capacité.

Ce phénomène est d'autant plus accentué que le condensateur a une capacité plus faible. Lorsque cette dernière est de l'ordre de quelques unités ESCGS, comme dans le cas de l'excitateur de Hertz, la résistance de l'étincelle pendant une oscillation va d'abord en diminuant au début d'une décharge, passe par un minimum, puis va en augmentant même avant la fin de la décharge, lorsque le courant n'opposera plus à l'espace explosif l'énergie suffisante pour compenser le rayonnement calorifique.

Il en résulte que l'excitateur émet *successivement une série d'oscillations* dont les durées *décroissent d'abord, puis croissent régulièrement jusqu'à la fin de la décharge*. Les expériences de M. Tissot vérifient la première partie de cette loi.

L'auteur a vérifié la proposition entière par l'expérience en mesurant la durée qui sépare deux minima de lumière dans l'étincelle hertzienne. L'intensité de la lumière est mesurée par l'allongement de la distance explosive d'un excitateur chargé à un potentiel toujours le même, à des instants variables, par une onde électrique provoquée par l'excitateur lui-même.

On a pu constater ainsi que les durées des oscillations dans une expérience avec un excitateur à plaques ont varié, à partir de la deuxième, comme les nombres 3, 2, 5, 6, 8. Les conséquences variées de l'interprétation des expériences sont vérifiées.

L'exposé de la méthode et la discussion des résultats seront faits dans le Mémoire complet.

Mesure de l'acuité auditive; par M. Marage. — L'audition, abstraction faite de tout phénomène psychique, est une fonction qui a pour but de faire parvenir jusqu'au nerf acoustique, en les transformant ou non, les vibrations qui ont été produites dans un milieu solide, liquide ou gazeux.

Cette fonction de l'audition s'accomplira plus ou moins bien; son degré de perfection est mesuré par l'acuité auditive.

On évalue l'acuité auditive au moyen des acoumètres.

L'acoumètre idéal serait celui qui permettrait de produire dans des conditions déterminées toutes les vibrations qui peuvent parvenir jusqu'au nerf acoustique.

Il faut donc d'abord déterminer la nature de ces vibrations.

On peut les diviser de la façon suivante :

Vibrations	Continues...	Non périodiques irrégulières.	Bruits	
		Périodiques régulières.	Simples ou Complexes.	Diapasons à branches. Plusieurs diapasons; instruments de musique; diapasons à anches.
	Discontinues.	Périodiques régulières.	Parole.	

M. Marage passe en revue les acoumètres qui appartiennent à chacune de ces classes, et il montre que ceux qui donnent des bruits ou des vibrations musicales ne peuvent fournir aucune indication précise sur le degré d'audition de la parole; il faut donc prendre comme acoumètre un appareil qui puisse reproduire les vibrations fondamentales des voyelles.

M. Marage décrit la sirène qui lui a servi à faire la synthèse des voyelles *ou, o, a, é, i*; il rappelle les expériences qui l'ont conduit à construire

cet instrument, et il démontre que la pression de l'air qui traverse l'appareil est proportionnelle à l'intensité du son; il suffit donc d'avoir un manomètre extra-sensible, gradué en millimètres d'eau, pour mesurer la pression de l'air au moment où le son est entendu; si cette pression est n, l'acuité sera $\frac{1}{n}$, le son étant parfaitement entendu par une oreille normale sous une pression de 1^{mm}.

M. Marage termine sa conférence par des expériences, et il montre combien il est facile de mesurer rapidement et d'une façon précise l'acuité auditive.

Sur la réponse électrique (*the electrical response*) *dans les métaux, les tissus animaux et végétaux*; par M. J.-C. Bose, professeur au Presidence College à Calcutta. — M. Bose, dans ses Travaux sur le cohéreur, avait étudié les courbes représentant la variation de résistance électrique en fonction de la grandeur de l'excitation par les ondes électromagnétiques et avait remarqué la grande analogie de ces courbes avec celles que les physiologistes ont relevées depuis longtemps sur les tissus musculaires soumis à une excitation électrique. M. Bose, dans une série de recherches très étendues, a été amené à modifier et le mode d'excitation de la matière et la méthode d'observation, mais il y a continuité complète entre les phénomènes qu'il présente aujourd'hui à la Société et ses recherches anciennes sur les radioconducteurs.

L'objet à étudier, muscle, tige ou racine végétale, fil métallique, est relié à un galvanomètre balistique par deux contacts électrolytiques. L'excitation s'obtient mécaniquement, par une torsion d'un angle connu, suivie immédiatement d'une détorsion d'un angle égal, de manière à revenir à l'état initial.

Cet appareil, sans modification, ne saurait, par raison de symétrie, donner aucune déviation au galvanomètre; aussi les physiologistes qui l'ont employé prennent-ils la précaution de tuer, par exemple par immersion dans l'eau chaude, l'une des moitiés du muscle ou nerf qui porte l'un des contacts électrolytiques.

M. Bose remplace cette méthode par la méthode du *bloc*, qui consiste à immobiliser dans un petit étau la partie moyenne de l'objet. Une torsion exercée à l'un des bouts n'atteint alors que le contact électrolytique en deçà du bloc, et le passage d'une certaine quantité d'électricité, souvent très grande, est observée au galvanomètre. M. Bose montre que la réponse électrique existe d'une manière tout à fait analogue dans les tissus animaux et végétaux et dans les fils métalliques. Toutes les particularités observées par les physiologistes peuvent être reproduites sur la matière inerte. Pour ne citer qu'un petit nombre des exemples de M. Bose, illustrés par la projection de nombreuses courbes et par des expériences faites devant la Société, on peut donner à un fil métallique toutes les apparences de l'anesthésie, de la fatigue, de la rigidité cadavérique, de l'empoisonnement, du tétanos.

M. Bose, se réservant de présenter à une autre occasion un exposé plus détaillé du côté physique de la question, conclut qu'il est inutile, au moins pour ce qui concerne les phénomènes de réponse électrique, d'invoquer pour la matière vivante des forces de nature différente des forces physique et chimique qui expliquent les phénomènes de la matière minérale. Il réprouve l'usage souvent fait par les physiologistes d'une force vitale mystérieuse, de nature hypermécanique, et à laquelle on peut reprocher de n'être qu'un mot ne correspondant à aucune définition précise.

SÉANCE DU 18 AVRIL 1902.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 21 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. BARRET (G.), Docteur en Médecine, à Paris.
BRUNET (Maurice), Professeur au Lycée de Bastia (Corse).
DÉRO (Louis-Émile), Ingénieur civil au Havre (Seine-Inférieure).
EGINITIS (B.), Elève de l'École Normale supérieure, à Paris.
GUÉRIN (Georges), Docteur en Médecine, Licencié ès Sciences, à Paris.
GIROUX (Lucien), Ingénieur-Opticien, à Paris.
HERZOG, à Paris.
JUDIC, Ingénieur-Électricien, à Paris.
LEJEUNE (Louis), Docteur-Médecin électricien, à Liége (Belgique).
NERDEUX (Léon-Jean), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
OSMOND (Floris), Ingénieur civil, à Paris.
PAQUIER (Marc), Constructeur-mécanicien, à Paris.
ROQUES (C.), Docteur, aide de clinique électrothérapique à la Faculté de Médecine de Bordeaux (Gironde).
SARRAZIN, Professeur à l'École des Arts et Métiers et à l'Ecole de Médecine d'Angers (Maine-et-Loire).
SCHAFFERS (R.-P.-Victor), Docteur ès Sciences physiques et mathématiques, Professeur au Collège de la Cie de Jésus, à Louvain (Belgique).
VINCENTINI (Giuseppe), Professeur à l'Université de Padoue (Italie).

M. le PRÉSIDENT annonce le décès de M. ALFRED CORNU, Membre de l'Académie des Sciences et du Bureau des Longitudes, Membre honoraire et ancien Président de la Société.

M. GARIEL lit la lettre suivante que lui a adressée M. H. POINCARÉ, empêché de venir présider la séance.

MON CHER COLLÈGUE,

Je ne puis malheureusement assister à la séance de ce soir et je suis obligé de vous prier de vouloir bien présider à ma place. Je le regrette d'autant plus que j'aurais voulu prendre la parole pour rendre hommage à la mémoire du collègue éminent, du savant illustre que nous venons de perdre et qui pour chacun de nous était un ami en même temps qu'un maître.

M. Cornu était assidu à nos séances; il nous a exposé ici même la plupart de ses découvertes et nous ne savions ce que nous devions admirer le plus de l'ingéniosité de son esprit inventif, de la sagacité de sa critique, ou de l'élégante clarté de son exposition.

Il a laissé sa trace dans toutes les parties de la Physique, mais c'est surtout pour l'Optique qu'il avait de la prédilection. Je crois que ce qui l'attirait dans l'étude de la lumière, c'est la perfection relative de cette branche de la Science qui, depuis Fresnel, semble participer à la fois de

l'impeccable correction et de la sévère élégance de la Géométrie elle-même. Là il pouvait mieux que partout ailleurs satisfaire pleinement les aspirations naturelles de son esprit épris d'ordre et de clarté.

C'est ainsi que son travail sur la diffraction, et celui où il étudie la réflexion cristalline sont de petits chefs-d'œuvre d'élégance géométrique. Il en est de même de tout ce qu'il a fait sur les instruments d'optique, sur la lunette zénithonadirale par exemple, et de ses recherches sur les propriétés focales des réseaux.

La méthode de Fizeau pour la mesure de la vitesse de la lumière l'a préoccupé toute sa vie; elle lui a fourni un de ses premiers Mémoires et, au moment de sa mort, il dirigeait encore les expériences qui se poursuivent à Nice sur ce sujet.

Je ne puis songer à énumérer ici tous les travaux de Cornu. Ils sont dans toutes les mémoires et, si je mentionne ses expériences célèbres sur la méthode de Cavendish, et ses recherches sur la gamme, c'est justement parce qu'elles sont tout à fait différentes de celles qui l'occupaient ordinairement et qu'elles font aussi mieux ressortir toute la variété de son talent.

Que ne pouvions-nous pas encore en attendre? Il est frappé en pleine activité! Que de travaux interrompus il laisse derrière lui! Pourquoi sont-ils les meilleurs ceux que la mort frappe ainsi sans attendre?

Je vous serais obligé, mon cher Collègue, si vous vouliez bien dire à la Société combien je regrette de ne pouvoir être là ce soir, pour exprimer de vive voix la douleur qui me frappe comme elle nous frappe tous.

Veuillez agréer, mon cher Collègue....

Poincaré.

Après cette lecture, M. le Président ajoute quelques mots.

Messieurs.

Il ne saurait venir à ma pensée de rien ajouter aux quelques lignes dans lesquelles notre Président, avec sa haute compétence, a rappelé les principaux travaux de Cornu et les a appréciés en indiquant la place que ces travaux occupent dans la Science.

Qu'il me soit permis de dire cependant que, si la perte que vient de faire la Société française de Physique peut être ressentie vivement par tous les membres, car Cornu n'était pas seulement un des plus anciens et des plus fidèles, mais il était aussi une de ses gloires, elle l'est plus encore par ceux qui avaient entretenu avec Cornu des relations amicales.

Parmi ceux-ci il en est, dont je suis, pour lesquels ces relations remontaient à quarante années et plus et qui n'en étaient que plus attachés à leur ami.

Aussi est-ce avec une douloureuse surprise que nous avons appris samedi la perte que faisait la Science française, et c'est avec une véritable émotion que nous nous trouvons réunis ici en songeant que plus jamais nous n'y retrouverons notre ami.

Dans une lettre adressée à M. Guillaume, M. Sarasin, de Genève, exprime en ces termes les regrets que lui inspire la mort de M. Cornu :

...C'est avec une profonde émotion que j'ai appris la mort si inattendue du grand physicien que vous venez de perdre en la personne de M. Cornu. Je me sens pressé de venir vous dire que je m'associe à votre deuil à tous, ses élèves, collègues de la Société de Physique, de l'Institut, de la Scienc française en général.

Je ressens bien douloureusement, comme on le ressentira dans le monde entier, le vide immense qu'il laisse dans la Science et au milieu de vous, ses amis et élèves, qui le considériez comme le chef de file incontesté, le maître aimé et admiré, qu'il vous était doux d'entourer et de suivre.

Je garde précieusement dans mon souvenir ce qu'il a été pour nous tous au Congrès de Paris, et je me rappellerai toujours la dignité et la grande élévation d'esprit avec lesquels il l'a présidé.

J'avais besoin de vous exprimer ces sentiments, parce que je sais quel chagrin profond cette mort est pour vous tout particulièrement qui lui étiez si respectueusement et si affectueusement attaché.

Agréez... Ed. SARASIN.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL lit son rapport sur l'exposition des 4 et 5 avril organisée sous les auspices de la Société.

MESSIEURS,

En rendant compte de l'Exposition annuelle de la Société, le Secrétaire général a l'agréable devoir d'adresser de bien vifs remercîments à tous ceux dont le concours en a assuré la réussite. En toute première ligne, qu'il me soit permis de nommer M. Sandoz, notre excellent agent général, dont on ne peut même plus dire qu'il s'est surpassé, étant toujours égal à lui-même dans son actif dévouement à notre Société.

La première journée de nos réunions de Pâques a été, comme de coutume, consacrée à la visite d'un établissement industriel. Nous avons dû à l'intervention personnelle de notre confrère M. Guillaume de pouvoir visiter les ateliers de M. Surcouf. Nous en avons rapporté l'impression d'une bonne journée non seulement à cause de l'intérêt même de la visite, mais aussi en raison du si aimable accueil qui a été fait aux membres de la Société par M. Surcouf et par M. le commandant Renard.

Plus de soixante exposants ont répondu à l'appel de la Société et sont venus installer des expériences dans l'hôtel que mettait gracieusement à notre disposition la Société d'Encouragement, notre propriétaire, mais une propriétaire d'année en année plus hospitalière.

Des flots de lumière partout, grâce aux appareils de la Compagnie universelle d'acétylène et de la Compagnie française de l'acétylène dissous, et grâce aussi aux économiseurs Weissmann et Wydts, aux lampes Cuénod, aux lampes Nernst et à la cascade lumineuse de M. Judic.

Nous devons un remercîment particulier à M. Cance, qui veut bien chaque année se charger des installations électriques, car l'électricité jouait un rôle important dans l'exposition proprement dite. Des appareils de mesure étaient présentés par MM. Blondel et Férié, Pellat, Brunhes, Carpentier, Le Chatelier, Cotton, Arnoux et Chauvin, Crémieu, Dobkewitch, Godefroy, Pierre Weiss et Japy, Job, la Société centrale de produits chimiques, Turpain et Rochefort, Thomas. Des appareils industriels étaient exposés par MM. Blondeau, Carpentier, la Compagnie française d'appareillage électrique, la Compagnie générale de chauffage électrique, MM. Cuénot, Guinard, Dobilly, Ducretet et Gaillard, Poulsen, Henri Frédet, Société française de l'accumulateur Tudor, Parvillée, Rouget et Faget, Nodon, Villard, Arnoux et Guerre, la Société pour la fabrication des compteurs et du matériel d'usines à gaz et la Société des radiateurs diffuseurs.

La Télégraphie sans fil, les rayons X et les radiations plus nouvelles du radium étaient représentés par les expériences de M. et Mme Curie et de M. Debierne, de MM. Béclère, Benoist, Chabaud, Contremoulins, Drault, Gaiffe, Herzog, Lecarme et Michel, Popoff et Ducretet.

La Physique biologique nous a fourni aussi de nombreux exposants : MM. Bergonié, Bordier, Breuillard, Broca et Sulzer, la Dowsing Radiant Heat C°, MM. Foveau de Courmelles, Radiguet et Massiot, Molteni, Lombart, Roycourt.

L'Optique était largement représentée par les projections cinématographiques de M. Gaumont et les projections de MM. Radiguet et Massiot, les appareils et les expériences de MM. Camichel, Le Chatelier, Champigny, Colardeau, Guilloz, Dechevrens, Féry, de Gramont, Jobin, Pellin, Perot et Fabry, Richard, Secrétan, Wallerant, Henocque, Yvon.

La Mécanique et l'étude des propriétés générales de la matière nous ont amené les travaux de MM. Hospitalier et Carpentier, Richard, Schwarzbard et Chateau, Cailletet, Looser, Cartaud et Cheneveau, Charpy et Grenet, Collot, Démichel, Ditisheim, Guillaume, Lancelot, René Leblanc, Leduc et Sacerdote, Stéphane Leduc, Marey, Osmond, Meusnier et Rolland.

A tous nos exposants nous devons une réelle reconnaissance; c'est à leur empressement, à leur inépuisable complaisance à nous donner des explications sur leurs appareils et au soin qu'ils apportent à la répétition de leurs expériences qu'est dû, chaque année, le succès de notre exposition.

Une part très importante de l'attrait de notre réunion de Pâques réside, cependant, dans la tradition maintenue par le Conseil de faire de cette réunion une véritable séance de la Société qui nous permet toujours d'entendre l'un ou l'autre de nos confrères de la province ou de l'étranger. Cette tradition nous a valu, cette année, quatre communications de MM. Janet, Swyngedauw, Marage et Bose. Vous avez pu voir, Messieurs, que nos salles étaient devenues trop étroites pour recevoir les membres de la Société venus pour entendre ces communications. Notre empressement à les écouter a été, à coup sûr, le meilleur remercîment que nous ayons pu adresser à nos conférenciers.

Permettez-moi, cependant, une mention particulière à MM. Pierre Weiss et Pellin, qui ont bien voulu traduire et illustrer la conférence de M. Bose.

Messieurs, aux séances de Pâques de l'année prochaine, la Société française de Physique aura accompli sa trentième année. J'émets le vœu, en terminant, que le succès de nos réunions de l'an prochain soit plus grand encore, s'il est possible, que celui que vous avez fait à notre réunion confraternelle de cette année.

Sur la cohésion des liquides; par LEDUC et SACERDOTE. — M. SACERDOTE rappelle tout d'abord l'expérience bien connue de Taylor, Gay-Lussac, etc. : un disque de verre étant suspendu horizontalement sous un plateau d'une balance et équilibré, si l'on amène en contact avec sa face inférieure une surface d'eau, elle y adhère. Mettons ensuite des poids P dans l'autre plateau de la balance; le disque se soulève, entraînant avec lui une petite colonne d'eau ; pour des poids suffisants cette colonne atteint 5^{mm} à 6^{mm}, puis se rompt, une mince couche d'eau restant adhérente au disque.

Dans bon nombre de Traités classiques, cette expérience est interprétée d'une façon complètement erronée; on dit, bien à tort, que les poids P donnent une mesure plus ou moins imparfaite de la cohésion du liquide, *cohésion qui est ainsi évaluée* à quelques décigrammes par centimètre carré, c'est-à-dire équivalente à une colonne de *quelques millimètres* d'eau.

M. Sacerdote montre qu'en réalité la cohésion du liquide n'intervient en rien dans cette expérience, qui réussirait tout aussi bien avec un liquide entièrement dénué de cohésion [1].

---

[1] Il s'agit, bien entendu, de la cohésion intérieure et non de la cohésion superficielle.

Cette expérience étant la seule invoquée dans les Traités comme preuve de la cohésion des liquides, la question restait donc entière : Y a-t-il ou n'y a-t-il pas cohésion, et, si oui, quel en est l'ordre de grandeur?

Le simple fait qu'une corde, une tige métallique fixée à sa partie supérieure ne se rompt pas malgré son poids met en évidence la cohésion des solides; de même pour résoudre cette question de la cohésion des liquides il suffisait de réaliser une colonne d'eau soutenue par sa partie supérieure.

MM. Leduc et Sacerdote sont parvenus à ce résultat par deux méthodes différentes qui seront décrites ailleurs : *Ascensions capillaires dans le vide* et *Baromètres tronqués.*

Par ces deux procédés ils sont arrivés à réaliser des colonnes d'eau de $0^m,20$, $1^m,30$ et finalement *plus de* 5^m, soutenues par leur sommet, par suite dans un état de tension et cependant parfaitement continues.

Dans une dernière expérience, une colonne de quelques centimètres d'eau toujours fixée à sa partie supérieure put supporter, sans se rompre, la traction exercée par une colonne de 90^{cm} de mercure, c'est-à-dire une traction équivalente à *plus de* 12^m *d'eau.*

En outre, contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, l'équilibre de ces colonnes liquides est tellement stable qu'il est nécessaire, pour le rompre, de faire vibrer énergiquement le tube en le frottant avec les doigts enduits de colophane : *on est donc encore très loin de la limite de cohésion* ([1]).

Toutes ces expériences sont répétées avec succès devant la Société.

M. Sacerdote termine en indiquant que cette grande valeur de la cohésion des liquides conduit à modifier la théorie de l'écoulement par gouttes.

M. Guillaume voit, dans une expérience de M. Berthelot, répétée plus récemment par M. Worthington, une confirmation des évaluations de MM. Leduc et Sacerdote concernant la force de cohésion de l'eau. Cette expérience consiste à enfermer, dans un tube de verre que l'on scelle à la lampe, une certaine quantité d'eau qui le remplit presque complètement. En chauffant le tube, on fait disparaître le vide restant. Si l'on refroidit au-dessous de la température à laquelle le remplissage parfait a été obtenu, le tube reste plein, l'eau étant alors soumise à une traction qui va en croissant à mesure que la température s'abaisse. Lorsque l'écart est devenu suffisant, il se produit un claquement sec, et un vide apparaît en un point du liquide. Connaissant l'écart entre la température de remplissage et celle à laquelle la séparation s'est produite, en même temps que la dilatation thermique de l'eau et sa compressibilité, on peut calculer la traction à laquelle l'eau a été soumise. Une vérification est donnée par la mensuration de la bulle, ou par la détermination du volume extérieur du tube, tandis qu'il est soumis à la traction intérieure. M. Worthington a obtenu, par exemple, dans le cas de l'alcool éthylique, la rupture pour une traction de 17^{atm}. Le coefficient d'extensibilité était sensiblement le même que le coefficient de compressibilité dans les limites de $+12^{atm}$ et -17^{atm}.

[*Addition.* — M. Osborne Reynolds a étudié de son côté la cohésion des liquides par un procédé fondé sur la force centrifuge.]

([1]) Cette limite est probablement équivalente à plusieurs centaines de mètres d'eau, comme cela semble résulter d'un raisonnement théorique approximatif; cela serait du reste en accord avec l'expérience de M. Berthelot sur la dilatation forcée des liquides.



SÉANCE DU 2 MAI 1902.

PRÉSIDENCE DE M. H. POINCARÉ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 avril est lu et adopté.

Thermoscope différentiel de M. Looser. — M. GUILLAUME présente, de la part de M. RADIGUET qui en est le dépositaire, un thermoscope imaginé par M. LOOSER dans le but de faciliter, dans les cours élémentaires de Physique, la démonstration des phénomènes classiques de la chaleur.

Un manomètre à alcool coloré est réuni à un réservoir de verre d'une forme convenable, à l'aide d'un tube de caoutchouc étroit et à parois épaisses. Entre le réservoir et le manomètre, un robinet permet d'établir ou de rompre à volonté la communication avec l'atmosphère. Le réservoir est adapté aux nécessités des expériences que l'on a en vue; il peut être sphérique, ou hémisphérique, avec une paroi plane placée verticalement ou horizontalement, transparente ou dépolie; enfin, il peut présenter un godet rentrant, dans lequel on introduira un liquide ou une éprouvette mobile.

Pour faciliter les expériences comparatives, deux appareils semblables sont montés symétriquement sur un même support, d'où le nom de *thermoscope différentiel* adopté par M. Looser.

A l'aide des réservoirs à face plane horizontale, on fera, de préférence, des expériences sur la conduction de la chaleur dans des plaques posées directement sur le réservoir, et sur lesquelles on place de petites cuves en zinc remplies d'eau bouillante. Par des expériences comparatives, on montre, par exemple, que la conductibilité du bois n'est pas la même dans les diverses directions prises par rapport à la fibre; ou encore on rendra évidente la chaleur absorbée par l'évaporation de quelques gouttes d'éther, etc.

Les réservoirs à face plane verticale, que l'on pourra noircir avec une flamme de térébenthine, feront voir l'énergie des radiations, l'opacité ou la transparence pour la majeure partie des rayons qui se trouvent dans le spectre infra-rouge, etc.

Enfin les réservoirs à godets montreront la différence des chaleurs spécifiques par immersion, par exemple, d'un cylindre de cuivre et d'un cylindre de plomb de même masse préalablement échauffés dans une quantité égale d'eau placée simultanément dans les deux godets.

En faisant aboutir dans ceux-ci l'extrémité de deux tiges de métal, fer et cuivre par exemple, dont l'autre extrémité se trouve dans une même flamme, on montrera la différence de conductibilité.

Si l'on veut rendre évidente l'influence à la fois de la conductibilité et de la chaleur spécifique dans les phénomènes de conduction, on placera, sur les réservoirs à face plane, un disque de cuivre et un disque de plomb, surmontés des cuves à eau chaude. Au premier moment, la température sera plus élevée du côté plomb, puis elle montera davantage du côté cuivre, lorsque l'état de régime se sera établi.

Les réservoirs à godets permettront encore l'étude des chaleurs de combinaison, de l'énergie produite par le courant électrique passant dans des fils ou des électrolytes. Pour la chaleur de combinaison des corps gazeux, acide carbonique et ammoniaque par exemple, on se sert d'un réservoir

à doubles parois avec une tubulure latérale allant de l'enveloppe extérieure au manomètre, et un réservoir intérieur à boules ouvert aux deux bouts et soudé à l'enveloppe, et dans lequel on fait arriver les gaz par les deux extrémités.

Deux vases spéciaux sont disposés pour montrer les variations de température qui sont produites par la compression ou l'expansion des gaz. On aspire à la bouche l'air de l'un, et l'on comprime l'air dans l'autre, puis on ferme les robinets; au bout d'un moment, on laisse l'équilibre s'établir brusquement, on établit alors la communication avec les manomètres, et l'on voit simultanément la température s'élever dans le réservoir où l'air avait été primitivement comprimé, et inversement. La décompression brusque avait, en effet, refroidi l'air, qui se réchauffe peu à peu aux dépens des parois du vase.

D'autres accessoires, enfin, permettent de rendre évidente la pression de vapeur de l'alcool, l'aspiration produite dans le vaporisateur, etc.

Le thermoscope Looser, avec le grand nombre d'ingénieux accessoires dont il est muni, constitue donc un instrument de choix pour l'enseignement secondaire.

Sur les ondes lumineuses stationnaires; par M. A. Cotton. — En poursuivant ses expériences sur la production de réseaux par la photographie de franges d'interférence, réseaux qui pourront servir dans des recherches sur l'infra-rouge, M. Cotton a utilisé en particulier à cette application les ondes stationnaires. Il a été conduit ainsi à examiner quelques points de la théorie de ces ondes, et à étudier divers procédés expérimentaux permettant de les observer directement ou à l'aide de la Photographie.

I. M. Cotton suppose d'abord un faisceau parallèle et monochromatique arrivant sur un miroir sous une incidence quelconque i, et montre comment la théorie, qu'il a précédemment indiquée, de l'interférence de deux ondes planes s'applique alors immédiatement et permet de trouver l'orientation des surfaces d'interférence (plans parallèles au miroir), la distance qui les sépare $\left(\frac{\lambda}{2\cos i}\right)$, et de discuter les conditions de leur netteté. On passe ainsi progressivement des franges d'un seul miroir, connues depuis longtemps, aux franges plus serrées correspondant aux ondes stationnaires proprement dites, distantes de $\frac{\lambda}{2}$ pour l'incidence normale (expériences de Wiener et Lippmann).

M. Cotton montre un microscope muni d'un petit miroir argenté convenablement disposé qui permet, avec un objectif d'une ouverture numérique suffisante, d'observer commodément les franges sous diverses incidences, en inclinant plus ou moins le corps du microscope recevant le faisceau provenant d'un arc au mercure. Il signale ce fait qu'il est très facile de les observer dans ces conditions, *sous une incidence de* 45° et même plus près de la normale : il n'est plus alors nécessaire, comme dans le cas de l'incidence presque rasante, de prendre une source ayant un petit diamètre apparent, et l'on a là un dispositif qui permet d'observer des franges d'interférence sans qu'il soit nécessaire d'employer une fente étroite et de la régler convenablement. Ces franges peuvent être d'ordre assez élevé pour qu'elles ne soient plus troublées par la diffraction.

Il est bon de polariser la lumière incidente de façon que le plan de polarisation comprenne le plan d'incidence, ou, en d'autres termes, que les vibrations (Fresnel) soient parallèles au miroir. Les franges deviennent alors beaucoup plus nettes. On les voit encore lorsqu'on tourne le nicol d'un angle droit, bien que le faisceau réfléchi s'affaiblisse, mais elles

perdent beaucoup de leur netteté si l'on donne au nicol des orientations intermédiaires. Ce fait provient de ce que, la réflexion étant métallique, les deux systèmes de franges correspondant au deux azimuts principaux ne coïncident pas.

Le cas de l'incidence de 45° est intéressant parce que les ondes stationnaires dont on peut voir alors la trace sur le plan sur lequel on vise sont celles que Zenker proposait dès 1868 de photographier, et que Wiener a effectivement réussi à fixer, dans sa célèbre expérience sur l'interférence de deux faisceaux polarisés dirigés à angle droit. Il faut remarquer toutefois (cette remarque est de M. Gouy) que, pour cette expérience elle-même, l'observation directe ne pourrait remplacer la photographie, parce que les rayons, à angle droit près du miroir, sont nécessairement très peu inclinés l'un sur l'autre lorsqu'ils arrivent sur la rétine. En fait on aperçoit sous cette incidence les franges en lumière polarisée, que le plan de polarisation soit parallèle ou qu'il soit perpendiculaire au plan d'incidence. Dans le second cas, les deux rayons n'interfèrent pas près du miroir, mais quand ils arrivent sur la rétine ils sont devenus capables d'interférer.

II. M. Cotton indique ensuite des résultats que lui a fournis l'examen théorique du cas, bien plus compliqué, où le faisceau éclairant est convergent, le foyer étant supposé réduit à un point. Les surfaces d'interférence sont alors courbes, et l'on ne peut les trouver par un simple raisonnement géométrique, parce qu'il faut tenir compte des lois particulières de la propagation d'une onde sphérique au voisinage de son centre.

On pourrait utiliser les ondes stationnaires pour mettre en évidence, par un nouveau procédé, le changement de phase qui en résulte. Mais on peut aller plus loin et se demander si l'on ne pourrait imaginer une expérience permettant de suivre dans sa marche, lorsqu'elle approche du foyer, cette onde convergente, et de voir de quelle façon s'établit progressivement ce changement de phase dont on observe au loin les effets.

Les difficultés expérimentales seraient nombreuses. En particulier, M. Cotton attire l'attention sur ce point que, par suite des changements de phase, qui varient avec l'incidence et avec l'état de polarisation, un miroir *plan métallique n'est pas en toute rigueur aplanétique pour des rayons provenant d'une source ponctuelle à distance finie.* On pourrait écarter cette difficulté en plaçant la source ponctuelle au centre d'un miroir sphérique de petit rayon. Les ondes stationnaires seraient alors des sphères concentriques que l'on pourrait étudier tout près de la source, si celle-ci était suffisamment bien définie.

Il semble d'abord qu'une telle expérience permettrait, si elle était possible, de résoudre la question de savoir si l'intensité lumineuse dépend de l'un ou de l'autre de ces deux vecteurs que l'on a à considérer dans toutes les théories de la lumière, lorsqu'on examine les phénomènes de polarisation.

Quand il s'agit d'ondes passant par un foyer, on trouve que les deux vecteurs, qui éprouvent tous deux un changement de phase, ne se propagent cependant pas exactement de la même façon au voisinage immédiat du foyer. Mais un examen plus approfondi montre que l'expérience dont il s'agit ne permettrait pas de trancher la question. Elle ne se pose plus d'ailleurs pour ceux qui admettent que les vibrations lumineuses sont des oscillations électriques.

III. Passant à la partie expérimentale, M. Cotton indique comment on peut très facilement répéter les expériences de Wiener et de Lippmann, en se plaçant dans les conditions où la théorie est simple, c'est-à-dire en employant un faisceau sensiblement parallèle et monochromatique que l'arc au mercure permet d'obtenir commodément.

Pour photographier les franges de Wiener, M. Cotton emploie, comme l'a fait M. Izarn, la gélatine bichromatée, avec une légère modification. Il profite de la propriété suivante : Quand on dépose une couche très mince de cette substance sur une glace de verre bien propre, et que l'on expose la glace sèche à la lumière, à travers une toile métallique par exemple, puis que l'on fixe par un simple lavage à l'eau distillée; on constate, en soufflant sur la plaque sèche de façon à provoquer un dépôt de buée, que l'image apparaît. Le dépôt se produit d'abord seulement aux endroits éclairés et indique leur place avec une grande netteté. Ce fait est à rapprocher de ce qui se passe dans le procédé du daguerréotype et aussi de l'action condensante que des radiations très diverses exercent, comme on sait, sur un jet de vapeur.

Les images ainsi obtenues peuvent être projetées facilement par transmission et ont alors l'aspect d'un négatif. Ces images disparaissent par suite de l'évaporation, et il faut les faire apparaître à nouveau. Mais on peut les fixer par différents procédés.

On projette ainsi, outre l'image donnée par l'ombre d'une toile métallique, celle des franges de Wiener obtenues en appliquant la courbe sensible sur un miroir argenté bien poli (l'expérience était disposée de façon à supprimer toute réflexion sur la surface de la couche sensible), et celle des franges de Wiener obtenues avec l'appareil ordinaire à anneaux de Newton où l'on a argenté le plan de verre postérieur et sensibilisé la face en regard de la lentille. La couche sensible employée peut être prise en effet presque aussi mince que les pellicules de collodion qu'employait Wiener, et cela est utile si l'on veut appliquer le procédé à l'étude de la forme des surfaces par leurs courbes de niveau. Pour obtenir ces couches très minces, on emploie des solutions très diluées qui ne se prennent plus en gelée par le refroidissement et qu'on applique à froid sur les glaces.

IV. L'analogie de ce procédé avec celui du daguerréotype devient frappante si l'on recouvre de la solution de gélatine non pas une glace nue, mais une glace argentée. On peut faire ainsi des copies de positifs, ou fixer directement des images à la chambre noire, comme le montrent des spécimens présentés.

Comme dans le daguerréotype, l'épaisseur de la couche recouvrant le miroir n'est pas indifférente, mais influe sur la sensibilité de la plaque et la vigueur des images. L'explication est la même; elle se déduit précisément, comme Wiener et Scholl l'ont montré, de la considération des ondes stationnaires. M. Cotton, qui a répété leurs expériences, projette une plaque obtenue en faisant l'expérience de Scholl (toujours avec le faisceau de lumière bleue provenant de l'arc au mercure). Une partie d'un miroir portant une couche d'iodure en forme de coin, donnant les couleurs de Newton de différents ordres, est développée, après l'exposition à la lumière, par les vapeurs de mercure, puis fixée; le reste de la plaque est laissé intact. On juxtapose à nouveau les deux morceaux et l'on place le tout dans le faisceau monochromatique qui a servi à impressionner. On constate alors que le dépôt de mercure n'est pas uniforme, mais s'est produit particulièrement aux points où l'on aperçoit une frange noire par réflexion sur la partie où la couche d'iodure a été conservée. C'est la façon la plus simple de mettre en évidence le changement de signe par réflexion normale sur un milieu plus réfringent.

V. M. Cotton termine sa Communication en projetant des couleurs photographiées par la méthode interférentielle en employant, comme M. Lippmann l'avait fait lui-même, la gélatine bichromatée. Il faut rendre la couche humide pour que les couleurs apparaissent, ce qui tient sans doute à ce que la structure lamellaire s'accentue, certaines *strates* s'imprégnant d'eau et leur indice s'abaissant. Il est en outre très important, plus important que pour les photographies aux sels d'argent, de sup-

primer les réflexions parasites sur les surfaces extérieures de la glace. En plongeant la plaque dans la benzine, par exemple, les couleurs que l'on voit sous des incidences convenables prennent un très grand éclat. Les couleurs par transmission sont visibles; un nicol convenablement disposé les rend plus vives, ce dont la théorie rend compte facilement.

Dans ces expériences, la couche de gélatine (prise beaucoup plus épaisse, bien entendu) était adossée à un miroir de mercure. On obtient aussi des couleurs, avec le faisceau sensiblement parallèle employé, avec un miroir d'argent *indépendant,* mais les franges de Wiener se photographient en même temps. Le fait qu'un miroir de mercure en contact avec la couche sensible a pu paraître indispensable tient donc bien au défaut de parallélisme du faisceau, qui empêche qu'un grand nombre de surfaces d'interférence soient nettes. Il semble donc, comme conclusion pratique, qu'il ne faille pas, dans l'application de la méthode interférentielle de M. Lippmann, employer des objectifs trop *ouverts*.

SÉANCE DU 16 MAI 1902.

Présidence de M. H. Poincaré.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 2 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

M[lle] Lance, Préparatrice au Lycée Fénelon à Paris.
MM. Bied (Jules), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Directeur du Laboratoire de la Société J. et A. Pavin de Lafarge, Le Teil (Ardèche).
Goldschmidt (Robert), Docteur ès sciences chimiques, à Bruxelles (Belgique).
Heger (Paul), Professeur de Physiologie, Institut Solvay, Parc Léopold, à Bruxelles (Belgique).
Infroit, Directeur du Service de la Radiographie à la Salpêtrière, Paris.

M. le Président lit la dépêche suivante adressée par M. Hesehus, Président de la Société physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg :

« La Société physico-chimique russe, réunie dans sa séance du 13 mai 1902, témoigne ses sentiments de condoléance et de regret les plus sincères causés par la mort inattendue du célèbre Cornu. »

Une lettre de remercîments sera adressée à la Société physico-chimique russe.

Soupape électrique, redresseur condensateur pour la transformation de courants alternatifs simples et polyphasés en courants continus; de M. Nodon.

M. Raveau ne fait pas l'historique de la question; il renvoie pour cela aux articles de M. Blondin, parus dans le journal *l'Eclairage électrique*

(12 février 1898, p. 293, et 27 juillet 1901, p. 117), où sont indiqués les résultats acquis depuis 1895 par M. Pollak.

M. Raveau expose comment M. Nodon est arrivé à utiliser, dans un appareil simple et d'un fonctionnement parfaitement régulier, la propriété, découverte par Buff en 1857, que présente une anode d'aluminium plongée dans un électrolyte d'opposer un obstacle très considérable au passage d'un courant. M. Nodon constitue une pile d'un cylindre de fer ou de fonte au centre duquel est maintenu, à l'aide d'un bouchon de caoutchouc, un bâton d'aluminium allié à 5 pour 100 de zinc, immergé dans une solution neutre et saturée de phosphate d'ammoniaque. Si l'on applique à cet élément une force électromotrice alternative qu'on fait croître progressivement de 15 à 110 volts, il se forme en quelques secondes, à la surface du bâton d'aluminium, une couche de phosphate d'alumine qui se comporte comme un isolant parfait jusqu'à 130 volts. Un dispositif automatique relie alors les bornes du circuit d'utilisation à celles du courant alternatif par l'intermédiaire d'éléments ainsi disposés : A chaque borne du courant alternatif (monophasé ou polyphasé) sont reliés les pôles de nom contraire de deux éléments; quant aux pôles restés libres, on a réuni ensemble ceux de même nom et l'on obtient un courant qui se dirige de l'aluminium vers le fer.

Divers clichés, projetés par M. Pellin, reproduisent des courbes déterminées par M. Hospitalier, à l'aide de l'ondographe. Le redressement du courant est complet, il n'y a plus de changement de signe, même quand le circuit d'utilisation n'a pas de self-induction. Grâce au concours de M. Guidé, ingénieur électricien, M. Raveau montre le fonctionnement d'un arc à régulateur continu et d'un petit moteur de ventilateur. On a obtenu un courant, non plus simplement redressé, mais presque rigoureusement constant, en chargeant une batterie d'accumulateurs, par suite d'un effet de capacité, ou même en actionnant un moteur Rechniewski de 4 chevaux. Il est d'ailleurs facile d'obtenir ce résultat à volonté en mettant en dérivation sur les bornes du circuit à courant continu un condensateur constitué par un élément assez semblable à ceux qui ont été décrits plus haut, dans lequel la couche de phosphate d'alumine constitue l'isolant.

Le rendement de la soupape électrique, mesuré au wattmètre, atteint 75 à 80 pour 100; il paraît indépendant de la période entre les fréquences 42 et 84. La force électromotrice et l'intensité sont l'une et l'autre réduites de 10 pour 100 environ dans la transformation. La solution ne paraît pas subir d'altération. En réglant, au moyen d'un manchon de verre qui coiffe le bâton d'aluminium, la densité du courant entre 5 et 10 ampères par décimètre carré, la température se maintient, dans un appareil d'une puissance de 4 chevaux au voisinage de 55°. Il est possible d'utiliser des forces électromotrices descendant jusqu'à 50 volts.

M. Nodon poursuit ses expériences dans une usine alimentée par la Section de l'Ouest Parisien, à Neuilly-sur-Seine; il espère annoncer bientôt pour les puissances élevées des résultats aussi satisfaisants que ceux qu'il a obtenus jusqu'à 4 kilowatts.

Actinoscope de M. de Chardonnet. — L'appareil présenté par M. de Chardonnet a été construit principalement pour les observations spectroscopiques en ballon, mais il peut également servir à terre pour donner rapidement des indications sommaires sur l'intensité relative, et même absolue, des différentes parties du spectre d'une lumière donnée.

M. de Chardonnet rappelle l'importance de la Spectroscopie aux grandes hauteurs; cette question a occupé plusieurs de nos éminents collègues. M. de La Baume-Pluvinel a fait des essais intéressants en ballon-sonde; mais la difficulté d'observer un spectre complet et de relever les raies n'a pas encore été surmontée. M. Deslandres a construit un appareil très ingénieux, qui donnera peut-être la solution du problème.

En attendant, M. de Chardonnet propose aux aéronautes une exploration plus sommaire, mais aussi beaucoup plus facile, des variations d'intensité du spectre aux différentes altitudes. Il présente un appareil destiné à réaliser cette exploration en ballon monté. On imaginerait facilement un mécanisme de déclenchement à altitude fixée permettant d'opérer en ballon-sonde.

L'appareil se compose d'un écran percé de trois fenêtres rectangulaires derrière lesquelles est appliquée une pellicule sensible, qui n'est autre qu'un rouleau de kodak.

Ces trois fentes sont munies : la première (la plus large) d'un verre ne laissant passer que les radiations rouges, la deuxième les radiations vertes; la troisième est munie d'une paire de lames de quartz argentées ne laissant passer qu'une bande de rayons ultra-violets. L'auteur a combiné ce dispositif il y a une vingtaine d'années et a montré, à cette place même, le parti qu'on en pouvait tirer pour photographier sans lumière apparente.

On obtient sur le cliché l'impression de trois bandes découpées au milieu et aux deux bouts du spectre.

Au devant des trois fenêtres glisse, au moyen d'un bouton à crémaillère, un écran qu'on arrête successivement dans huit positions successives, donnant des temps de pose échelonnés de 1 à 8.

On obtient, au développement, des bandes dégradées dont on connaît le temps de pose en chaque point.

Ayant fait successivement, durant la même ascension, à différentes hauteurs, un certain nombre d'images, on pourra, après développement, les rapprocher, identifier les plages ayant même teinte et juger de l'intensité du rayonnement à chaque station.

On pourra aussi, par ce moyen, obtenir des mesures très approchées de l'intensité absolue de rayonnement : il faudra, pour cela, réserver une place libre sur la bande sensible. Au retour, on influencera cette réserve avec la lumière d'un arc électrique d'intensité connue, et, après développement, cette dernière image servira de point de comparaison.

M. de Chardonnet montre des photographies obtenues avec cet appareil à différentes lumières : soleil, ciel nuageux, arc électrique ordinaire, arc au fer, bec Auer, bec de gaz.

L'appareil, très habilement construit par M. Pellin, n'occupe pas 1^{dm^3} et ne pèse guère plus de 500^{gr}. Il sera employé dans les ascensions scientifiques organisées par la Commission scientifique d'aérostation de l'Aéro-Club, et l'auteur aura l'honneur de communiquer les résultats à la Société de Physique.

Chalumeau oxy-acétylénique. — M. Fouché, Directeur de la Compagnie française de l'*Acétylène dissous*, présente un nouveau chalumeau oxy-acétylénique dans le fonctionnement duquel n'entrent en jeu que l'acétylène pur et l'oxygène.

On se rappelle que, l'année dernière, M. Fouché avait déjà présenté un appareil de ce genre dans lequel l'acétylène était saturé de vapeurs d'éther, ce qui rendait la combustion beaucoup plus facile à régulariser.

Le progrès actuel est très important, car il permet d'obtenir une température beaucoup plus élevée.

C'est en faisant appel à des pressions plus fortes que celles que l'on emploie d'ordinaire que ce résultat a pu être obtenu.

Dans ce chalumeau les consommations relatives des deux gaz sont, en volumes : 1 d'acétylène pour 1,8 d'oxygène.

Les deux éléments sont mélangés à l'intérieur de l'appareil, qui contient des arrêts en briques poreuses destinés à empêcher tout retour de combustion en arrière.

La vitesse nécessaire des gaz à la sortie, pour que la flamme ne rentre

pas dans l'intérieur du chalumeau, est d'environ 100^m à 150^m et la pression que l'on doit employer pour obtenir cette vitesse et compenser les diverses pertes de charges créées dans l'appareil est de 4^m d'eau.

La flamme présente au centre un dard verdâtre extrêmement court (6^{mm} environ) qui est le siège de la plus haute température.

Ce chalumeau permet de fondre les métaux avec la plus grande facilité: en particulier avec le fer et l'acier on réalise la soudure autogène dans des conditions excellentes, la flamme réglée comme on l'a dit plus haut n'oxydant ni ne carburant le fer.

La silice est fondue et volatilisée sans peine par la chaleur du chalumeau oxy-acétylénique. La chaux ordinaire, celle qui sert généralement pour la production de la lumière oxhydrique, est également fondue. Il en est de même de l'alumine. Les briques de magnésie ne résistent pas non plus. Lorsqu'on diminue la quantité d'oxygène, la flamme devient éclairante et, en la projetant sur la chaux, le carbone libre se transforme en carbure de calcium.

Avec une proportion d'oxygène plus forte, on constate facilement, par la fusion du fer, que la flamme devient oxydante.

Or, de la composition chimique de l'acétylène on déduit que, pour une combustion complète, en acide carbonique et eau, il faut, pour 1 d'acétylène, 2,5 d'oxygène, et, pour une combustion en oxyde de carbone seulement, il faut 1 d'acétylène et 1 d'oxygène. La proportion d'oxygène qui convient pratiquement, soit 1,8 pour 1 d'acétylène, est donc comprise entre ces deux limites extrêmes.

M. Fouché présente un certain nombre de pièces importantes en fer exécutées à l'aide de cet appareil. En outre, diverses expériences et quelques soudures de tôle sont faites devant l'assistance.

SÉANCE DU 6 JUIN 1902.

Présidence de M. C.-M. Gariel.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 mai est lu et adopté.

M. le Secrétaire général annonce que la Société des Ingénieurs civils de France est chargée, par la famille de M. Henri Schneider, d'attribuer sept prix de 5000^{fr} chacun aux Ouvrages publiés, en France, depuis 40 ans, écrits ou traduits en français, qui ont été le plus utiles au développement, en France, de la branche d'industrie faisant l'objet de la catégorie du prix. Les sept catégories sont relatives : 1° à la métallurgie; 2° aux mines; 3° à la construction mécanique; 4° aux grandes constructions métalliques; 5° aux constructions électriques; 6° aux constructions navales; 7° à l'artillerie et aux défenses métalliques de terre et de bord.

Les Ouvrages doivent être adressés au siège de la Société des Ingénieurs civils, 19, rue Blanche, à Paris, avant le 1er juillet 1902.

A propos du procès-verbal de la dernière séance, M. Pollak précise les résultats auxquels il est arrivé, depuis 1893, sur l'emploi des redresseurs pour courants alternatifs et, depuis 1895, sur les redresseurs à aluminium.

L'emploi des sels alcalins, et spécialement des phosphates, comme électrolytes a permis de monter de 20 volts à plus de 100 volts les tensions des courants redressés (*Brevet anglais*, 19 septembre 1896; *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 21 juin 1897; *Brevet allemand*, 21 août 1898).

Les clapets de M. Pollak, tout en servant de condensateurs, ont même pu être employés jusqu'à 200 volts (*Comptes rendus*, 21 juin 1897 et 10 juin 1901); le montage employé permettait l'utilisation des deux phases du courant alternatif. Un rendement de plus de 75 pour 100 a été constaté au laboratoire de la Société de Physique de Francfort (février 1899). Des courbes de courant complètement redressé ont été obtenues à diverses reprises et notamment, en 1901, avec l'ondographe de M. Hospitalier (*Éclairage électrique*, 27 juillet 1901).

M. Pollak a réalisé plusieurs applications industrielles de ses appareils en alimentant, en 1895, des moteurs et lampes à arc à courant continu (*Zeitschrift für Electrochemie*, Heft 2, 1897-1898), en chargeant les accumulateurs de tramways électriques de son système à Francfort. Enfin, en juin 1901, à la Société internationale des Électriciens, avec un de ses appareils, M. Pollak a chargé les accumulateurs d'un automobile et actionné un moteur à courant continu de 6 chevaux.

Recherches sur les gaz ionisés. — M. Langevin expose les principaux résultats des travaux étrangers auxquels se rattachent ses propres recherches, et cherche à préciser la notion d'*ion* dans les gaz.

Il est nécessaire pour y parvenir d'examiner les phénomènes très différents qui accompagnent le passage de l'électricité à travers les gaz, d'abord aux pressions ordinaires, puis dans le vide de Crookes.

Aux pressions ordinaires, ces phénomènes restent les mêmes quelle que soit la manière dont le gaz est rendu conducteur par action des rayons de Röntgen ou des rayons secondaires qu'ils produisent en frappant la matière, des radiations déviables ou non déviables émises par les corps radio-actifs, des rayons de Lenard, des rayons cathodiques émis par une lame de zinc sous l'action de la lumière ultra-violette.

Chaque élément de volume du gaz rendu conducteur par une radiation peut fournir, si un champ électrique y existe, des quantités égales d'électricité positive et négative, qui se déplacent en sens inverses le long des lignes de forces et peuvent être recueillies par les conducteurs chargés qui créent le champ.

Les quantités d'électricité que l'on peut ainsi extraire du gaz par unité de temps n'augmentent pas indéfiniment avec l'intensité du champ, et tendent, quand cette intensité augmente, vers une limite qui représente la *quantité d'électricité libérée* dans le gaz par la radiation.

Les charges de signes contraires ainsi libérées dans le gaz se recombinent spontanément, et cette recombinaison est d'autant plus importante qu'un temps plus long s'écoule entre le moment où les charges sont libérées et celui où elles sont recueillies par les conducteurs chargés qui créent le champ.

Si la radiation cesse d'agir, le gaz revient à son état normal, soit par action du champ qui en extrait les charges libérées, soit par recombinaison progressive de ces charges.

Le déplacement des charges le long des lignes de force s'effectue avec une vitesse finie, proportionnelle à l'intensité du champ, et plus grande en général pour les charges négatives que pour les positives. Ces vitesses ont été mesurées en particulier par M. Zeleny en les composant avec la vitesse connue d'un courant gazeux.

Si X est l'intensité du champ, les vitesses peuvent être représentées

par

$$v_1 = k_1 X$$

pour les charges positives,

$$v_2 = k_2 X$$

pour les charges négatives. Les coefficients k_1 et k_2 sont les *mobilités*.

Ces mobilités, différentes dans les gaz secs, sont très voisines, au contraire, dans les gaz saturés de vapeur d'eau. On obtient une image très précise de tous les phénomènes présentés par les gaz conducteurs si l'on admet que les charges mobiles y sont portées par un nombre fini de centres électrisés que l'on nomme des *ions*, et qui résultent d'une dissociation particulière subie par certaines molécules du gaz sous l'influence de la radiation.

Cette hypothèse est confirmée par la manière dont les gaz conducteurs facilitent la condensation de la vapeur d'eau sursaturée. Le gaz contenant des charges libres contient en même temps un nombre fini de centres de condensation mesuré par le nombre des gouttes qu'une détente brusque y produit en présence de vapeur d'eau. Il est naturel de supposer que les centres de condensation sont identiques aux centres chargés qui portent les quantités d'électricité libres dans le gaz.

L'étude de ces phénomènes de condensation a permis à M. Wilson de montrer que les centres positifs et les centres négatifs portent des charges égales en valeur absolue, et au professeur J.-J. Thomson de mesurer la grandeur de ces charges, égales dans tous les cas à 7×10^{-10} unités C. G. S. électrostatiques.

De plus, M. Townsend, par l'étude de la diffusion des charges dans le gaz, a pu montrer que la charge électrique commune à tous les ions gazeux est égale *à celle que transporte l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse*.

La grandeur du coefficient de diffusion des ions, inférieure à celle du coefficient de diffusion du gaz dans lui-même, conduit à considérer les ions comme notablement plus gros que les molécules du gaz, et constitués par une agglomération de molécules neutres maintenues par attraction électrostatique autour d'un centre chargé.

Pour être fixé sur la nature de ce centre, il est nécessaire de revenir aux phénomènes de décharge électrique dans les gaz très raréfiés.

Une dissymétrie capitale s'y manifeste entre les charges positives et négatives. Ces dernières sont transportées par des *rayons cathodiques* matériels qui transportent par unité de masse une charge négative deux mille fois plus grande en valeur absolue que celle transportée par 1^g d'hydrogène dans l'électrolyse.

Or les particules cathodiques émises par une lame de zinc sous l'action de la lumière ultra-violette donnent naissance à des ions négatifs ordinaires en arrivant dans un gaz de pression suffisante. Chaque particule cathodique porte donc la charge de l'ion, c'est-à-dire la charge d'un atome d'hydrogène dans l'électrolyse, et doit être par suite deux mille fois plus petite que l'atome d'hydrogène.

Les rayons cathodiques sont donc constitués par des *corpuscules* de masse bien inférieure à celle des atomes et portant la charge négative

$$e = 7 \times 10^{-10} \text{C.G.S.}$$

Ces corpuscules sont les centres autour desquels se forment, par agglomération de molécules neutres, les ions négatifs dans les gaz ionisés. Les centres positifs paraissent constitués par le reste de la molécule dont un corpuscule a été détaché.

Donc l'ionisation des gaz est produite en principe par le mécanisme suivant :

La radiation qui rend le gaz conducteur dissocie un certain nombre de molécules en deux portions chargées d'inégale grosseur : d'une part un corpuscule cathodique, deux mille fois plus petit qu'un atome d'hydrogène et chargé négativement; puis le reste de la molécule chargé positivement. Ces deux centres chargés groupent autour d'eux des molécules neutres par attraction électrostatique, et les agglomérations ainsi formées constituent les ions.

Ces ions peuvent se recombiner au moment des collisions entre des ions de signes contraires, et le gaz reprend son état normal. Si un champ électrique y existe, les ions positifs se déplacent dans le sens des lignes de forces, les ions négatifs en sens inverse avec des vitesses proportionnelles à l'intensité du champ et peuvent être recueillis par les conducteurs chargés qui produisent le champ.

Interrupteur-turbine pour courants électriques; par MM. LECARME frères et MICHEL. — L'étude de la rupture d'un circuit comprenant un self-inducteur traversé par un courant intense et de grande force électromotrice montre qu'il se forme une étincelle d'extra-courant dont la température est assez élevée pour volatiliser les extrémités du circuit métallique et donner lieu à un arc; le courant n'est donc pas de ce fait annulé instantanément. Il s'ensuit que, si l'on produit cette rupture un certain nombre de fois par seconde, ainsi que cela arrive dans les interrupteurs, il y a fusion des métaux faisant contact, et l'*interrupteur colle*. Nous avons cherché à éviter *ce phénomène* en faisant fonctionner un trembleur de Neel dans un courant d'eau projeté violemment sur l'étincelle de rupture : le résultat a été négatif. Comme, d'autre part, l'emploi du mercure est à rejeter en ce sens que non seulement l'appareil ne reste pas identique à lui-même pendant toute la durée du fonctionnement à cause de l'émulsion formée, mais encore parce que deux contacts consécutifs ne sont jamais semblables, nous avons cherché quels étaient les métaux donnant lieu aux meilleurs résultats et la manière dont le contact et la rupture devaient se produire. Ces résultats obtenus, nous avons essayé divers liquides diélectriques et nous nous sommes arrêtés à l'huile de pétrole.

Dans l'appareil en question et pour un courant de force électromotrice donnée, l'intensité du courant dépend uniquement de la pression des balais mobiles (laiton) sur les balais fixes (cuivre rouge); l'appareil est d'ailleurs réglé de sorte qu'il ne passe jamais plus de 1 ampère pour 1^{cm^2} de surface de contact.

En raison de la disposition de la turbine et de l'inclinaison des balais par rapport aux rayons menés de l'axe de rotation à la périphérie, l'intensité du courant croît de 0 à 1 ampère par centimètre carré de surface des balais d'une façon progressive : pendant ce temps la turbine comprime le pétrole, et au moment où les quatre balais mobiles quittent les balais fixes, ce qui a lieu brusquement puisque les premiers sont tordus par la pression comme des ressorts, le pétrole s'échappe avec force et souffle l'étincelle de rupture en même temps qu'il refroidit les contacts. Cet appareil donne des résultats remarquables, tant au point de vue du rendement que de sa durée. Il donne un nombre d'interruptions qui peut varier à volonté depuis 10 à 200 par seconde, et les étincelles fournies par la bobine qu'il actionne sont toutes identiques et parfaitement régulières. Les résultats sont excellents en ce qui concerne son application à la télégraphie sans fil, à la radioscopie (vision très nette des battements du cœur), à la radiographie et à la haute fréquence. Une petite bobine donnant par exemple $0^m,25$ d'étincelle, actionnée par l'interrupteur-turbine au moyen du courant de 110 volts, donne des résultats supérieurs à ceux obtenus avec une bobine de $0^m,40$ d'étincelle actionnée par un interrupteur à mercure.

SÉANCE DU 20 JUIN 1902.

Présidence de M. C.-M. Gariel.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 6 juin est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Lambert (Pierre), Ingénieur à Paris.

M. Bouasse adresse une Note relative aux expériences récemment répétées devant la Société par MM. Leduc et Sacerdote. Les auteurs assimilaient un liquide sous pression négative à une tige solide suspendue : « Le fait que cette tige ne se rompt pas malgré la pesanteur montre qu'il existe des *forces de cohésion* supérieures à $\frac{p}{s}$ ».

M. Bouasse considère cette comparaison comme inexacte. Tout d'abord quand on tire sur un fil on n'exerce pas une traction uniforme. En second lieu, si les théories de la déformation des matériaux de Lamé et de Clapeyron, ou de Saint-Venant, peuvent par extrapolation fournir la définition des forces de cohésion, la base expérimentale leur fait défaut. Enfin, suivant la théorie de Duguet Coulomb, qui soutient que les déformations sont produites par glissement sous l'influence des forces tangentielles, il ne se produirait jamais de rupture par *traction uniforme*.

En résumé l'on ignore ce qu'il faut entendre par forces de cohésion pour un solide, et il n'y a aucune analogie entre les phénomènes de déformations permanentes et de rupture des solides et les phénomènes dont MM. Leduc et Sacerdote ont repris l'étude.

M. Crémieu rappelle qu'à la suite de la Communication de MM. Leduc et Sacerdote, il avait présenté des observations analogues à celles que contient la Note de M. Bouasse.

M. Leduc, à qui ces observations ont été communiquées, répond :

« J'ignore, comme M. Bouasse, quelle est au juste l'origine de la *cohésion* des solides et M. Bouasse ignore, comme vous, comment les choses se passent dans les liquides. Il semble donc hasardeux d'*affirmer* qu'il n'y a aucune analogie entre les deux phénomènes.... Quoi qu'il en soit, nous avons produit et étudié l'*état de tension* (uniforme) ou de pression négative, et appliqué à la rupture la notion de cohésion des Traités classiques, sans nous préoccuper de son origine. »

M. Patte adresse de Vitry-le-François la description d'un phénomène, d'ailleurs connu, de diffusion des rayons solaires avec convergence à 180° du Soleil qu'il a observé le 17 mai dernier : ce phénomène présente l'aspect d'un large faisceau de 12 fuseaux blanchâtres d'éclats alternés, allant du Soleil à un point de convergence à 180°; l'angle rectiligne du dièdre de ce faisceau est d'environ 90°, symétrique par rapport à la verticale.

Il est limité à l'est par l'horizon; à l'ouest, l'éclat diminue sur une longueur d'environ 20° et devient insensible à une distance de 10 à 20° du point de convergence; celui-ci est à peu près à 10° au-dessus de l'horizon (le calcul indique 12° 5 d'après l'heure de l'observation).

Il est intéressant de remarquer qu'un nimbus isolé passe devant ces traînées en les masquant, mais sans les interrompre ni diminuer leur éclat.

Cet aspect persiste quelques minutes, et tout s'éteint à la fois.

Recherches sur les gaz ionisés. — M. Langevin rappelle d'abord les points principaux de la théorie des ions gazeux qu'il a développés dans sa précédente Communication, et insiste particulièrement sur les deux lois fondamentales de *mobilité* et de *recombinaison*.

La première est relative au déplacement des ions dans un champ électrique : les ions libres dans le gaz se déplacent avec des vitesses proportionnelles au champ X, égales à k_1X pour les ions positifs dans le sens des lignes de force, et à k_2X pour les ions négatifs en sens inverse.

Les *mobilités* k_1 et k_2, variables avec la nature et l'état du gaz, sont généralement différentes, les ions positifs étant moins mobiles que les ions négatifs.

La loi de recombinaison est analogue à la loi d'action de masse de Guldberg et Waage, la vitesse de recombinaison des ions de signes contraires étant proportionnelle au produit des densités en volume des charges positives et négatives présentes dans le gaz. Si p et n sont ces densités, on aura :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dn}{dt} = -\alpha pn,$$

α étant le *coefficient de recombinaison*. Cette loi, qui régit le retour spontané du gaz à l'état normal, a été vérifiée jusqu'ici seulement dans le cas particulier où les densités p et n sont égales, la charge totale étant nulle dans chaque élément de volume du gaz.

Etant donnée l'importance de ces deux lois au point de vue de la théorie des ions, il y a lieu de chercher des méthodes nouvelles et précises permettant de les vérifier dans toute leur généralité, et d'aboutir à des confirmations nouvelles de la théorie des ions.

Première méthode. — Pour un gaz donné, dans des conditions déterminées, la constance des coefficients k_1, k_2 et α entraîne la constance du rapport

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{4\pi(k_1 + k_2)},$$

que l'expérience permet d'atteindre directement dans des conditions de précision particulièrement favorables.

Ce rapport a, d'ailleurs, une signification théorique : *il représente le rapport du nombre des recombinaisons au nombre des collisions entre deux ions de signes contraires,* et doit, par suite, si l'image des ions est exacte, rester toujours inférieur à l'unité, et tendre vers cette valeur quand la mobilité des ions diminue, c'est-à-dire quand la pression du gaz augmente.

La détermination expérimentale du rapport ε se fait en étudiant la variation avec le champ électrique de la quantité d'électricité recueillie dans le gaz qui sépare deux lames métalliques parallèles après le passage, pendant un temps très court (10^{-4} seconde environ) des rayons de Röntgen émis dans une seule décharge d'un tube de Crookes.

La radiation ionisant le gaz y libère par unité de surface des lames parallèles une quantité d'électricité Q_0 de chaque signe. Les ions positifs

sous l'action du champ se déplacent dans un sens, les ions négatifs en sens inverse, et une recombinaison partielle se produit pendant le temps que les ions des deux signes mettent à filtrer les uns au travers des autres. Cette recombinaison est d'autant plus importante que le champ est plus faible, c'est-à-dire que les ions des deux signes, se mouvant plus lentement, restent plus longtemps en présence. L'application des lois de mobilité et de recombinaison donne, pour la quantité recueillie Q dans un champ produit par une densité superficielle σ sur les lames parallèles, l'expression

$$\frac{\varepsilon Q}{\sigma} = L\left(1 + \frac{\varepsilon Q_0}{\sigma}\right).$$

Cette relation permet de déduire ε de la mesure des rapports

$$\frac{Q}{\sigma} \quad \text{et} \quad \frac{Q_0}{\sigma}.$$

Pour éliminer toute incertitude provenant des variations dans l'intensité des rayons émis par les décharges successives dans un tube de Crookes, il est préférable de mesurer Q et Q_0 sur une même décharge en employant deux systèmes identiques où sont libérées des quantités égales Q_0 au moment d'une décharge dans le tube de Crookes. La petitesse des quantités d'électricité à mesurer oblige à augmenter beaucoup la sensibilité des appareils de mesures électrostatiques.

L'intérêt de cette méthode réside surtout en ceci : que la relation qui permet le calcul du rapport ε est indépendante de la répartition, dans l'intervalle des lames parallèles, de l'ionisation produite par les rayons de Röntgen. On a pu effectivement modifier beaucoup cette répartition, modifier la distance des lames, l'intensité du champ et celle de l'ionisation sans que le rapport ε déduit de l'expérience varie d'une manière sensible.

Conformément aux prévisions théoriques indiquées plus haut, ce rapport s'est toujours montré inférieur à l'unité, et d'autant plus voisin que la pression est plus élevée.

Seconde méthode. — Une disposition expérimentale analogue a permis de mesurer séparément les *mobilités* k_1 et k_2 en suivant le déplacement des ions dans l'intervalle des lames parallèles après l'ionisation que produit le passage de la radiation.

Cette étude peut se faire si l'on renverse le champ un temps variable t après le passage de la radiation : la quantité recueillie varie avec ce temps depuis $-Q_0$ si le renversement du champ a lieu avant le passage de la radiation, jusqu'à $+Q_0$ si le renversement du champ a lieu après que tous les ions libérés ont été recueillis par les lames qui limitent le champ, auquel cas le renversement ne produit aucun effet.

La courbe qui représente la variation en fonction de t de la quantité recueillie présente deux points anguleux correspondant aux temps pour lesquels les derniers ions négatifs et les derniers ions positifs parviennent aux lames qui doivent les recueillir.

Ces points anguleux sont particulièrement nets quand l'ionisation est hétérogène, et intense surtout au voisinage d'une des lames, grâce aux rayons secondaires qu'y produisent les rayons de Röntgen. Ces points anguleux permettent de déterminer exactement les temps mis par les ions des deux signes pour parcourir, dans un champ d'intensité connue, la distance connue des deux lames, et de déduire de là les *mobilités*.

La mesure des temps a été faite au moyen d'un poids tombant en chute libre et rencontrant successivement deux leviers dont l'un coupe le circuit du primaire de la bobine, et fait passer la décharge dans le tube de Crookes, et dont l'autre produit le renversement du champ dans lequel se produit le déplacement des ions libérés.

Ce second levier, mobile sur la colonne d'un cathétomètre, permet de faire varier le temps t qui sépare le passage de la radiation du renversement du champ. On obtient une détermination exacte de la position de ce levier qui correspond aux points anguleux de la courbe.

L'inégalité entre les mobilités k_1 et k_2 est ainsi très nettement mise en évidence, et l'on obtient aisément des mesures absolues.

MM. Broca et Sulzer ont étudié directement la façon dont varie la sensation lumineuse en fonction du temps pendant les premiers instants qui suivent l'impression. Il ont opéré par comparaison photométrique entre une image aérienne intermittente et une plage diffuse éclairée par un étalon. La plage aérienne est rendue intermittente par un disque à fente variable (épiscotister d'Aubert), et l'on peut amener l'égalité des plages pour les diverses valeurs du temps.

On trouve ainsi que la sensation passe par un maximum pour un temps très court si la lumière est forte, pour un temps beaucoup plus long si elle est moyenne, et atteint sa valeur finale asymptotiquement si elle est faible.

Le maximum peut correspondre à une lumière 5,5 fois plus grande que la sensation permanente, pour l'éclat pris par un papier blanc sous un éclaircissement de 170 lux.

Le temps mis par la sensation à atteindre son régime permanent est excessivement long; il va de 1 seconde 1 pour les fortes lumières à 2 secondes 5 pour les faibles.

SÉANCE DU 4 JUILLET 1902.

Présidence de M. C.-M. Gariel.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société:

M. Picard (Frédéric), Docteur en Médecine à Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales).

Sur la décentralisation de la production de la lumière par l'éclairage à l'alcool; par M. L. Denayrouze. — Il y a quelques années, quand on commença à parler de l'emploi, fait en Allemagne, de l'alcool à l'éclairage, peu de personnes crurent au développement de l'industrie nouvelle.

En effet, à cette époque les meilleures lampes consommaient environ 3^{g},0 d'alcool par bougie-heure, l'alcool valant à cette époque environ 0^{fr},70 le litre, son emploi n'apparaissait pas économique.

Depuis cette époque, les conditions fiscales ont changé, l'alcool dénaturé a été dégrevé des impôts qui le mettaient à un prix très supérieur à sa valeur réelle.

Cependant des rendements analogues à celui cité plus haut n'auraient pas permis au nouvel éclairage un développement important.

Trois années d'études ont fait successivement tomber les consomma-

tions spécifiques jusqu'aux chiffres trouvés au dernier concours de l'alcool pour les lampes Denayrouze, soit $1^g,08$ par bougie-heure pour l'alcool pur et $0^g,64$ pour l'alcool carburé. Cela avec des lampes sans pression.

En prenant le chiffre de $3^g,4$ comme quantité de pétrole nécessaire pour produire dans les lampes usuelles une bougie-heure, et en prenant les prix de :

Pétrole (hors Paris)...........	$0^{fr},35$ le litre, densité 0,800
Alcool dénaturé ou carburé....	$0^{fr},40$

on trouve que ces modes d'éclairage reviennent aux prix de :

	fr	
Pétrole........................	0,001487	par bougie-heure
Alcool dénaturé...............	0,000498	»
Alcool carburé	0,000311	»

L'alcool dénaturé est donc environ 3 fois moins onéreux que le pétrole, et l'alcool carburé près de 5 fois moins.

En outre ces lampes ne dégagent aucune odeur et ne suintent pas.

L'emploi d'un carburant à prix relativement bas permet d'obtenir la même lumière avec une dépense moindre et, dans le cas d'augmentation du cours de l'alcool, d'en contre-balancer l'effet.

Les lampes présentées à la Société ont des intensités respectives de 10, 20, 35, 60, 80, 200, 500 bougies.

Elles réalisent le maximum de décentralisation possible, puisqu'elles sont absolument autonomes et portatives et qu'elles permettent de faire tous les éclairages désirables, depuis l'éclairage de la chaumière du paysan jusqu'au grand éclairage industriel en passant par l'éclairage luxueux des grands salons.

La lampe se compose en principe d'une mèche amenant, par capillarité, le liquide dans une chambre où il se vaporise, la chaleur nécessaire à cette vaporisation étant produite à l'endroit voulu à l'aide d'une tige de métal conducteur (en général le cuivre) qui prend à l'extérieur du manchon une partie de la chaleur perdue. La vapeur formée sort par un petit trou formant l'injecteur d'un brûleur Bunsen au-dessus duquel se trouve un manchon à incandescence.

L'allumage une fois obtenu, à l'aide d'un tampon contenant la quantité nécessaire d'alcool, la lampe continue à fonctionner sans aucune action extérieure. La chaleur recueillie par la potence sert à vaporiser le liquide qui, en brûlant mélangé avec l'air, produit l'incandescence du manchon, la chaleur perdue servant à chauffer la pièce de récupération ; en un mot, c'est un cycle fermé.

L'emploi de tube en métal très peu conducteur pour soutenir les pièces de vaporisation et contenir la mèche empêche d'une façon complète tout échauffement du récipient et, par suite, du liquide, ce qui fait que la lampe est absolument sans danger.

Appareil pour la régénération de l'air confiné. — M. Desgrez rappelle brièvement la méthode de régénération de l'air confiné qu'il a instituée, en collaboration avec M. Balthazard. Elle est basée sur la décomposition du bioxyde de sodium par l'eau, avec régénération de l'oxygène consommé, fixation de l'acide carbonique éliminé et destruction des toxines pulmonaires. Pour l'utilisation de cette réaction, MM. Desgrez et Balthazard ont fait construire un appareil qui permet à un homme de pénétrer isolément dans une atmosphère irrespirable et d'y séjourner au moins trois quarts d'heure. Cet appareil comprend trois parties essentielles :

1° Un distributeur chargé d'assurer la chute régulière du bioxyde de sodium dans l'eau. C'est une boîte prismatique, en acier, divisée en compartiments par dix tablettes horizontales superposées. Grâce à une crémaillère qui se déplace verticalement, un mouvement d'horlogerie déclenche, à intervalles de temps égaux, chacune de ces tablettes chargées de bioxyde de sodium.

2° Une boîte cubique, également en acier, contenant de l'eau et placée sous l'appareil précédent. Au fur et à mesure que les tablettes prennent la position verticale, elles déversent leur bioxyde dans l'eau de cette boîte; l'oxygène et la soude produits concourent alors simultanément, chacun pour sa part, à la régénération de l'atmosphère initiale.

3° Un petit ventilateur mis en mouvement par un moteur électrique primitivement actionné par des accumulateurs. Dans nos derniers appareils, il est mis en marche par le mouvement d'horlogerie qui assure également la distribution du bioxyde de sodium. Ce ventilateur détermine la circulation continuelle de l'air dans l'appareil et l'espace clos où se trouve le sujet.

L'air se trouvant légèrement échauffé dans sa régénération même, on le fait passer, à sa sortie du milieu réagissant, dans un réfrigérant qui le ramène à sa température initiale. Ce réfrigérant a d'abord été formé d'une simple glacière garnie d'un mélange de glace et de sel marin; les auteurs préfèrent actuellement utiliser un récipient à chlorure de méthyle qui assure une réfrigération plus parfaite et produit, en même temps, la condensation de l'excès de vapeur d'eau contenue dans l'air régénéré.

Toutes les pièces précédentes sont réunies entre elles et enfermées dans une boîte en aluminium, de forme circulaire, se fermant hermétiquement par un couvercle, également en aluminium, appliqué sur la boîte par des vis à bascule, avec une rondelle de caoutchouc interposée.

L'appareil devant être mis en marche sans aucun retard, dans la plupart des circonstances où il trouvera son application, doit donc toujours être préparé d'avance : à cet effet, le récipient est rempli d'eau, les tablettes chargées de bioxyde. Pour éviter l'altération de ce dernier, une plaque mobile, à charnière, vient obturer l'orifice qui sépare la boîte à bioxyde du régénérateur dans lequel nous avons mis l'eau. Il faut, en outre, mettre l'appareil en marche de l'extérieur; cette manœuvre comporte le déclenchement du mouvement d'horlogerie, d'une part; le rabattement de la tablette de séparation, de l'autre. Elle est réalisée par un dispositif approprié. Pour le réfrigérant, on le met en marche, au moment du besoin, en ouvrant un robinet placé à l'extérieur de la boîte. — Cette boîte est munie de bretelles qui permettent de la placer, à la façon d'un sac de soldat, sur le dos du sujet ayant déjà revêtu la veste scaphandre. Deux tubes munis de raccords permettent de relier le régénérateur à la veste.

Le poids de l'appareil, prêt à fonctionner, est de 12^{kg}. Deux minutes suffisent, en général, à un homme exercé, pour se mettre en état de l'utiliser immédiatement.

SÉANCE DU 21 NOVEMBRE 1902.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 4 juillet est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société les pertes douloureuses qu'elle a faites pendant les vacances : M. *G. Trouvé*, Ingénieur Électricien à Paris, M. le Dr *Fricker* à Paris et M. *Bandsept*, Ingénieur à Bruxelles (Belgique).

M. le PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts annonçant que le 41e Congrès des Sociétés Savantes de Paris et des départements s'ouvrira à Bordeaux le 14 avril 1903. Les Mémoires doivent être adressés avant le 20 janvier prochain au 5e Bureau de la Direction de l'Enseignement supérieur.

M. BOUTY offre à la Société la Table analytique et la Table par noms d'auteurs des trois premières séries du *Journal de Physique*, 1872-1901. Ces Tables ont été dressées par M. E. Bouty et B. Brunhes avec la collaboration de MM. Bénard, Carré, Couette, Lamotte, Marchis, Maurain, Roy et Sandoz.

Préparation de lames minces métalliques par projection cathodique, par M. L. HOULLEVIGUE. — On sait que, lorsqu'on produit l'effluve dans un gaz raréfié, la substance de la cathode est projetée en tous sens dans l'espace qui l'environne. M. Houllevigue, laissant de côté l'étude théorique du phénomène, s'est préoccupé de son application à la préparation des pellicules métalliques. Il l'a utilisé pour déposer sur un support quelconque (verre, fibre, plaque métallique, etc.) des couches minces adhérentes des métaux suivants : or, argent, platine, palladium, fer, nickel, cobalt, zinc, étain, cuivre, bismuth; seul le charbon paraît n'avoir pas donné de dépôt. Les pellicules obtenues peuvent présenter tous les degrés de transparence ou d'opacité suivant la durée de l'opération (quelques heures ou plusieurs journées).

Pour obtenir les pellicules sur verre, le dispositif recommandé est le suivant : on place la lame à métalliser sur une large anode horizontale en aluminium; à 12^{mm} ou 15^{mm} au-dessus se trouve une lame horizontale du métal à déposer, qui constitue la cathode; le tout est placé dans une cloche à douille et le vide est fait à la trompe jusqu'à quelques centièmes de millimètre. Le flux électrique est fourni par le secondaire d'une bobine de Ruhmkorff (type Ducretet à interrupteur indépendant); il commence par purger la cathode des gaz occlus; ensuite la cathode projette sa propre substance, partie sur la lame de verre placée en regard, partie sur l'anode et sur les parois de la cloche. Quand le dépôt est jugé d'épaisseur convenable, on arrête l'opération, on laisse refroidir l'appareil, on fait rentrer l'air et l'on retire la lame métallisée.

Les lames transparentes de fer permettent aisément de constater l'existence de la polarisation rotatoire magnétique du métal : une variation de champ égale à 12250 unités a produit, avec l'échantillon employé, une rotation positive de 1°18'.

Les pellicules de bismuth présentent un effet anormal : elles n'éprouvent aucune variation dans leur résistance électrique quand on les introduit dans un champ magnétique; ce résultat est à rapprocher de celui déjà signalé par M. Leduc, à propos du bismuth électrolytique : l'effet du champ magnétique est d'autant plus accentué que la texture cristalline du métal est plus accusée.

Pour conclure, M. Houllevigue croit que ce nouveau procédé de métallisation (qu'on pourrait appeler ionoplastie, par analogie avec la galvanoplastie), peut être utilisé dès à présent dans les laboratoires, et par les constructeurs d'instruments scientifiques.

M. Bouty pense que le dépôt est composé de métal pur lorsque la cathode est elle-même formée de métal pur. Mais existe-t-il des métaux vraiment purs et peut-on affirmer que tout dépôt obtenu à l'aide du procédé indiqué par M. Houllevigue est exempt d'impuretés?

M. Houllevigue croit à la pureté des dépôts dans les cas du fer, du cuivre et du nickel électrolytiques. Dans le cas d'une cathode d'argent contenant du cuivre, on voit apparaître le cuivre à la cathode au bout de quelque temps; l'argent serait plus facilement transporté que le cuivre. Des expériences nouvelles s'imposent pour préciser ces résultats; il serait important d'observer les corps composés bons conducteurs de l'électricité, les sulfures par exemple. Le graphite traité pendant 8 jours n'a pas fourni de résultats satisfaisants.

Après une observation de M. Benoist, M. Houllevigue ajoute qu'il ne lui semble pas que la facilité de transport des métaux combinés ou mélangés soit en relation avec leurs poids atomiques. Sur la demande de MM. Javal et Gariel, il fournit quelques explications sur le temps nécessaire pour obtenir un dépôt opaque à travers lequel on puisse regarder le soleil sans être incommodé : vingt minutes dans le cas de l'or, un temps plus long avec le palladium, à cause de la nécessité de chasser, avant le dépôt, les gaz inclus dans ce métal. L'épaisseur du dépôt que l'on peut obtenir ainsi est illimitée en principe.

M. Broca rappelle qu'avec des dépôts électrolytiques de fer ayant des épaisseurs de l'ordre du $\frac{2}{100}$ de micron, il a obtenu des valeurs du pouvoir rotatoire magnétique du même ordre de grandeur que celles observées par M. Houllevigue avec les dépôts cathodiques.

Sur l'application de la loi des travaux virtuels aux phénomènes naturels. — M. Carvallo fait hommage à la Société de son Ouvrage : *L'électricité déduite de l'expérience et ramenée au principe des travaux virtuels.* Il y expose sous une forme très condensée les idées de Maxwell augmentées d'idées personnelles. La conclusion est l'idée de Maxwell entièrement généralisée, savoir :

1° *Les forces électromagnétiques et les forces électromotrices d'induction sont des forces d'inertie;*
2° *Les phénomènes électriques obéissent à la loi des travaux virtuels.*

Pour M. Carvallo, la loi des travaux virtuels est aussi générale que la conservation de l'énergie, la deuxième n'étant qu'une des faces multiples de la première. Veut-on limiter le physicien à la conservation de l'énergie? Autant vaudrait limiter le mécanicien au théorème des forces vives.

Il serait souvent embarrassé par les mécanismes qui dépendent de plusieurs paramètres, car le théorème des forces vives ne donne qu'une des équations du système, tandis que celui des travaux virtuels les donne toutes.

Le paragraphe 2 intéresse l'enseignement, parce que la formule:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt},$$

y est établie avec une correction qui fait quelquefois défaut.

L'inertie qu'est la self-induction est montrée de suite par une expérience frappante du cours de Cornu. Cela met en garde contre la faute qui consisterait à négliger la self.

M. Carvallo répète l'expérience devant la Société.

Sur l'influence de la vitesse de charge d'un excitateur — Sur l'allongement de sa distance explosible par la lumière ultra-violette, par M. R. Swyngedauw. — L'allongement de la distance explosive d'un excitateur par les rayons ultra-violets est une fonction croissante de la vitesse de variation $\frac{dV}{dt}$ du potentiel à l'instant où l'étincelle éclate.

On le démontre par la méthode des excitateurs dérivés; on maintient l'un des excitateurs N dans des conditions physiques toujours les mêmes et l'on détermine la distance explosive équivalente de l'autre excitateur E, éclairé ou non par la lumière d'une lampe à arc.

Si l'étincelle éclate à la distance critique, d'après la proposition énoncée, l'allongement doit être égal à l'allongement statique; or Hertz, etc. ont démontré que l'allongement de la distance critique peut être de $\frac{1}{3}$ ou de la $\frac{1}{2}$ de la distance elle-même, tandis que les allongements que l'on obtient dans une méthode statique n'atteignent guère que le vingtième avec un éclairement intense; ces faits ne sont cependant pas en contradiction avec la proposition, car on démontre que, dans le cas où la distance explosive critique de l'excitateur est allongée plus qu'une distance statique, ce qui arrive lorsque l'éloignement est suffisamment intense, l'étincelle n'éclate pas au maximum du potentiel entre les extrémités de la bobine, mais, pour un potentiel de $\frac{1}{3}$ environ inférieur, au moment où $\frac{dV}{dt}$ a une valeur notable.

Cette proposition montre que l'étude des rayons ultra-violets par l'allongement des distances critiques manque de précision et de certitude, car les potentiels explosifs de l'excitateur éclairé ou non ne sont pas les mêmes.

L'allongement de la distance explosible est une fonction paire de la vitesse de charge; la distance explosive s'allonge encore lorsque le potentiel va en décroissant, il en résulte cette conséquence singulière qui change les idées reçues sur les potentiels explosifs : pour décharger un excitateur éclairé par les rayons ultra-violets, chargé à un potentiel voisin du potentiel explosif statique, *il suffit de diminuer brusquement* la différence de potentiel entre ces pôles.

Cette proposition permet d'interpréter certaines expériences curieuses inexpliquées jusqu'à ce jour, notamment l'expérience de M. Lodge sur le débordement de la jarre, et une expérience de Hertz (¹) est démontrée par de nombreuses expériences.

(¹) Hertz, *Untersuchungen*, p. 288, n° 8.

SÉANCE DU 5 DÉCEMBRE 1902.

PRÉSIDENCE DE M. H. POINCARÉ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 21 novembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

Mlle VENOT (Anne-Marie), Professeur agrégé au Lycée de jeunes filles de Lyon.
MM. BERTOUX, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Lille.
BOIZARD, Professeur au Lycée de Coutances.
CASSIE (William), Professor of Physics in the Royal Holloway College, London University (Angleterre).
FARGE (Emile), Professeur au Lycée de Roanne.
MARIE (Théodore), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Toulouse.
ROTHÉ (Edmond), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.
SANTAIS (abbé), Professeur à l'Institution ecclésiastique d'Yvetot.
DE SAINTIGNON, Maître de forges à Longwy.
VERNIER, Maître Répétiteur au Lycée Louis-le-Grand.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. DE REY PAILHADE, où celui-ci annonce, à propos de la division décimale du jour, qu'il a calculé les principales constantes physiques dans le système décimal : le centimètre, le gramme-masse, le cent-millième de jour.

M. P. VILLARD revient sur les résultats exposés par M. Houllevigue dans la précédente séance, à laquelle il n'a pu assister. D'après ses observations il semble que la pulvérisation des cathodes soit d'autant plus intense que le poids atomique du corps en expérience est plus élevé (exemples : or, platine, plomb, nickel, fer, aluminium, magnésium, sodium, lithium, carbone). Il y aurait peut-être anomalie pour l'argent, anomalie qui se retrouve dans la transparence de ce métal pour les rayons X et sa puissance d'émission pour ces rayons.

La pulvérisation serait d'autant plus intense que le poids atomique du gaz ambiant est plus élevé : l'aluminium se pulvérise notablement dans l'oxygène et abondamment dans l'argon pur.

Le phénomène de la pulvérisation n'a lieu que si le corps est cathode ou *si, étant isolé, il est frappé par des rayons cathodiques.*

Appareil simple pour observer les phénomènes de diffraction et d'interférence. — M. FOUSSEREAU présente à la Société un dispositif simple, permettant de montrer à des élèves, avec les ressources du laboratoire le plus modeste, les principaux phénomènes de diffraction et les franges d'interférence d'Young.

L'appareil comprend deux tubes métalliques, de 30^{cm} à 50^{cm} de largeur et de 3^{cm} à 4^{cm} de diamètre, pouvant rentrer l'un dans l'autre à frottement doux.

A l'extrémité du tube le plus large on dispose une plaque transversale percée d'un trou central ou d'une fente étroite à bords minces. C'est la

source lumineuse qu'on éclaire par le reflet d'un mur exposé au soleil ou par une lumière artificielle quelconque.

Le second tube porte à son extrémité la plus éloignée de la source un oculaire de microscope n° 1, puis, à une distance variable avec la nature de l'expérience, l'écran qui doit donner lieu au phénomène de diffraction. On peut aussi mettre l'oculaire dans un troisième tube, distinct de celui qui porte l'écran, pour pouvoir faire varier plus commodément la distance de ces deux pièces. Toutes les pièces peuvent être montées dans des bouchons de liège. On interpose en outre dans les tubes plusieurs diaphragmes de liège pour écarter les réflexions intérieures. Le réglage s'obtient simplement par le glissement et la rotation du tube étroit dans le tube large.

On peut observer ainsi très nettement les phénomènes qui caractérisent le petit trou, le petit écran, le bord d'un écran rectiligne, l'écran étroit, la fente étroite, le système de deux fentes parallèles, etc.

En employant un oculaire positif à micromètre pour mesurer la largeur des franges, on transformerait aisément l'appareil en un instrument de mesure.

L'auteur montre à la Société les franges obtenues avec une aiguille, en dedans et en dehors de l'ombre géométrique.

Avec deux fentes parallèles très voisines, on aperçoit deux systèmes de franges de diffraction séparés par des franges d'interférence (franges d'Young). Ces dernières franges sont larges et vivement colorées quand on allonge l'appareil de manière à séparer la source de l'écran et celui-ci de l'oculaire par des intervalles de 1^m chacun.

État actuel de la question de la convection électrique. — M. V. Crémieu fait d'abord un rapide historique des expériences relatives à l'effet magnétique de la convection électrique.

Il montre ensuite que, pour qu'une expérience de convection soit correcte, il faut acquérir la certitude :

1° Qu'on entraîne une charge;

2° Que cette charge seule peut agir sur les appareils destinés à déceler les effets magnétiques attribués à sa convection;

3° Que, pendant le transport, la charge n'a subi que des pertes limitées à une faible fraction de sa valeur absolue.

Dans la plupart des expériences faites jusqu'à ce jour, ces conditions ont été totalement ou partiellement négligées.

Des expériences toutes récentes, dans lesquelles on s'est attaché à réaliser ces trois conditions, ont montré, d'autre part, les deux faits nouveaux suivants :

1° D'autres effets que des variations magnétiques lentes peuvent agir sur un système astatique protégé par un écran électrique. Certains effets de ce genre se produisent en particulier au voisinage de nœuds d'oscillations électriques;

2° Par suite d'anomalies encore mal expliquées, un conducteur isolé sur un diélectrique solide, et en mouvement, se charge très incomplètement et très irrégulièrement. Il se comporte comme ayant une capacité très différente et, en général, notablement inférieure à celle calculée d'après ses dimensions et sa forme.

M. V. Crémieu conclut par suite : 1° qu'il faut rechercher les lois exactes de ces deux phénomènes nouveaux.

2° Il faudra ensuite étudier quel rôle ils ont pu jouer dans les expériences de convection antérieures; et enfin faire de nouvelles expériences à l'abri de leurs effets.

Quelques expériences élémentaires (Élasticité). — M. Abraham décrit

et réalise devant la Société quelques-unes des expériences du *Recueil* en préparation (Élasticité) :

1° L'allongement d'un fil de caoutchouc est proportionnel à sa longueur : application à la construction d'un pantographe;

2° Etude d'un dynamomètre (bracelet de caoutchouc tendu sur un triple décimètre);

3° Allongement et rupture d'un fil de cuivre sous une charge croissante;

4° Torsion à la main d'une tige de fer repliée à laquelle on fait soulever un poids — proportionnalité du poids à la torsion;

5° Mesure précise des forces de torsion avec une balance de Roberval;

6° Les forces de torsion constituent un couple : emploi de deux pendules dynamométriques;

7° Flexion d'une baguette de sapin (déformations résiduelles), — rupture;

8° Flexion d'un arc d'acier : pèse-lettres;

9° Rigidité d'une *ferme simple;*

10° Flexions obliques d'une tige de sapin : enregistrement de l'ellipse d'élasticité;

11° Courbe d'allongement d'un ressort à boudin en fonction de la charge, — méthode graphique directe.

SÉANCE DU 19 DÉCEMBRE 1902.

PRÉSIDENCE DE M. H. POINCARÉ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DAUVÉ, Professeur au Collège Monge, à Beaune.
KARPEN (Vasilesco), Ingénieur, Licencié ès sciences, à Paris.

A propos de la Communication récente de M. HOULLEVIGUE, M. ED. VAN AUBEL adresse une Note rappelant les travaux de Wright, Kundt, Patterson et J.-J. Thomson sur les lames minces métalliques réalisées par projections cathodiques.

M. DELAURIER adresse une Note intitulée : *Recherches sur la navigation aérienne.*

M. le PRÉSIDENT annonce que le Rapport de la Commission des comptes sera envoyé à tous les membres de la Société et que l'on votera sur son adoption à la séance du 16 janvier.

Sur la mesure absolue du temps, par M. LIPPMANN. — Une mesure est dite *absolue* lorsqu'elle est déterminée au moyen de paramètres qui sont d'une autre nature que la grandeur à mesurer. Tous les phénomènes de gravitation peuvent servir à la mesure absolue du temps. On peut em-

ployer le pendule, par exemple, pourvu que l'on adopte pour unité de force celle qui rend égale à 1 la constante de l'attraction universelle.

L'unité de temps ainsi définie est indépendante du choix de l'unité de longueur; elle ne dépend que de la nature de la substance qui présente la masse unité sous l'unité de volume. Dans un pareil système, la masse, le champ, etc., électrostatiques auraient les mêmes dimensions que la masse, le potentiel, le champ newtonien.

Une mesure absolue du temps peut encore être réalisée en prenant pour unité la résistance spécifique absolue d'une substance déterminée, le mercure par exemple. On effectue, à l'aide d'une pile de force électromotrice E, la charge d'une capacité C que l'on décharge un nombre n de fois par seconde tel qu'il soit constaté au galvanomètre différentiel égalité entre le débit de décharge et le débit de la même pile dans un circuit de résistance R. On satisfait, dans ces conditions, à la relation

$$i = \frac{E}{R} = ECn,$$

et celle-ci se transforme, si l'on pose

$$\theta = \frac{1}{n} \qquad \text{et} \qquad R = \rho\frac{l}{s},$$

en

$$\theta = C\rho\frac{l}{s}.$$

Ici encore, comme dans le cas précédent, la durée θ, qui sépare deux décharges successives, est indépendante du choix de l'unité de longueur adoptée. Cette expérience a déjà été réalisée par M. H. Abraham. Elle permet encore de contrôler, avec une précision que l'on peut pousser aussi loin que l'on veut, la constance d'un intervalle de temps.

M. Curie fait remarquer que les phénomènes de radioactivité qu'il a étudiés récemment fournissent le moyen de définir un étalon de temps. Lorsqu'on a activé à l'aide d'une solution de radium l'air à l'intérieur d'un tube de verre, on peut sceller le tube et constater ensuite que le rayonnement des parois diminue avec le temps suivant une loi exponentielle. La loi se vérifie pour des intervalles de temps considérables, l'intensité du rayonnement diminue de moitié en 4 jours (plus exactement 3 jours, $23^h 40^m$). La constante de temps définie par ce phénomène est la même quelle que soit la nature et la pression du gaz, quelles que soient la nature et les dimensions des parois du tube qui le renferme, quelle que soit la température (entre 180° et +500°), quelle que soit la manière dont le tube ait été activé. Le temps ainsi défini est indépendant des unités adoptées pour les autres grandeurs physiques.

Application de la mesure de la résistance électrique à l'étude de quelques fermentations et de quelques cas pathologiques. — M. Dongier présente les résultats que M. Lesage et lui ont obtenus avec le dispositif de Kohlrausch, sous la forme en usage au laboratoire d'Ostwald. L'emploi d'un diapason comme interrupteur de la bobine de Ruhmkorff, ainsi que d'un téléphone accordé sur le diapason, constitue la partie originale de cet appareil. En vue de leurs recherches spéciales, les auteurs ont substitué à la résistance métallique, à laquelle la résistance liquide est comparée, une solution saline contenue dans un vase scellé portant deux électrodes planes, platinées, et en face l'une de l'autre. La self-induction

et la capacité affectent également les deux branches du pont et l'extinction est obtenue d'une manière parfaite lorsque le curseur du pont à corde est à la position où l'équilibre du pont de Wheatstone est réalisé; ainsi modifié, l'appareil satisfait aux conditions d'une enquête exigeant des mesures rapides et suffisamment précises.

1° Les laits de Paris, observés pendant quelques mois, ont fourni à 16°,7 des valeurs de la résistivité comprises entre 230 et 275 ohms; le lait d'une même vache, observé pendant quatre mois, a varié dans des limites moins étendues, 245 à 265 ohms. L'appareil permet de suivre le mouillage qui élève la résistivité, ou la fermentation lactique qui l'abaisse.

2° La résistivité d'un bouillon de culture change en général sous l'action de l'évolution microbienne; le microbe du tétanos l'abaisse, et cet abaissement ne serait pas dû à la présence de la toxine élaborée. D'autres l'élèvent; d'autres ne lui font subir aucune variation.

3° Les sérums sanguins d'hommes et d'animaux de boucherie, provenant d'individus adultes et sains, présentent des résistivités qui diffèrent peu les unes des autres; 97 à 104 ohms à 16°,7.

La plupart des maladies de l'homme n'affectent pas la résistivité du sérum; l'urémie et, surtout, la fièvre typhoïde accusent cependant une élévation notable, jusqu'à 117 ohms. Dans le cas de la fièvre typhoïde, la résistivité atteint son maximum au début de la convalescence.

Variation de la résistance électrique du nickel dans le champ magnétique. — M. Dongier commence par signaler à la Société les résultats publiés à ce sujet par M. Williams dans le numéro du *Philosophical Magazine* d'octobre dernier. La longueur d'un échantillon de nickel, soumis à l'influence de champs magnétiques croissant jusqu'à 450 unités C.G.S., subit des variations qui présentent la même allure que celles de la résistance électrique.

M. Dongier, ayant opéré avec des champs plus élevés, a observé l'existence d'un maximum de résistance lorsque le champ est voisin de 1500 unités C.G.S.; la résistance depuis un champ nul jusqu'au champ du maximum augmente des $\frac{15}{1000}$ de sa valeur pour un champ nul. La diminution de résistance que l'on observe lorsque l'on fait grandir le champ magnétique au delà de 1500 unités a lieu d'une manière continue; elle est, dans un champ de 24000 unités, égale aux trois quarts de l'augmentation. D'après M. Nagaoka (*Congrès de Physique*, 1900, t. II, p. 531) la variation de longueur du nickel a lieu dans un sens toujours le même jusqu'à 2300 unités. La variation de la résistance électrique ne saurait donc être rapprochée de celle de la longueur au delà de 1500 unités C.G.S.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1902.

Actes de la Société scientifique du Chili. — T. XI, nos 4 et 5, 1901; et t. XII, nos 1 et 2, 1902; in-8°.

American Journal of Science. — 4e série, T. XIII et XIV, 1901; in-8°.

American Journal of Mathematics. — Edited by Frank Morley, with the cooperation of Simon Newcomb, A. Cohen, Charlotte A. Scott and the other mathematicians. — Published under the auspices of the Johns Hopkins University. — Vol. XXIV, nos 2, 3 et 4, et vol. XXV, no 1, 1902; in-8°.

Annales de la Société scientifique de Bruxelles. — 26e année, fasc. 1 à 4, 1901-1902; in-8°.

Annalen der Physik. — Tomes VII à IX, 1902; 3 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 7e série, t. XXV à XXVII, 1902; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. — T. XII, 1902; in-4°.

Annales de l'Observatoire national d'Athènes. — Publiées par Démétrius Eginitis, t. III, 1901; 1 vol. in-4°.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publiées par S.-C. Hepitès, t. XV, année 1899; 1 vol. in-4°.

Buletinul Lunar al observatiunilor meteorologice din Romania. — Anul X, 1901; in-4°.

Annales scientifiques de l'Université de Jassy. — T. II, 1 fasc., 1902; in-8°.

Annuaire météorologique. — Publié par l'Institut Danois (1re et 2e parties), 1901; in-4°.

Annuaire pour l'an 1902 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — T. XIII et XIV, 1902; 2 vol. in-8°.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié, année 1902; 1 vol. in-8°.

Astronomical and magnetical and meteorological observations made at the royal Observatory Greenwich in the year 1899. — Under the direction of W.-H.-M. Christie, C. B., M. A., F. R. S., astronomer Royal. Edinburg, Printed for his Majesty's Stationery Office by Neill et C°, Limited. — Bellevue, 1901; 1 vol. in-4°.

Astrophysical Journal, an international review of Spectroscopy and astronomical Physics (Chicago). — Vol. XV, année 1901, in-8°.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XXVI, 1902; 1 vol. in-8°.

Bulletin scientifique trimestriel. — Publié par l'Association amicale des Élèves et anciens Élèves de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. Nos 1 à 4, 1902; in-8°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. XIX, janvier à octobre, année 1902; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie. — T. XXV, année 1902; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société internationale des électriciens. — Année 1902; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. — T. XIV, 4e série, 1902; 1 vol. in-4°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris. — Compte rendu sommaire des séances, t. IV, nos 1 et 2, 1902; in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 3e série, vol. XXXVIII, année 1902; 1 vol. in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 2e série, t. II; 3e série, nos 1 à 6, 1902; in-8°.

Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse. — Année 1902. — Mulhouse, Vve Bader et Cie, 1902; 1 vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1902; 1 vol. in-8°, et catalog., t. I, nos 1 à 4; in-8°.

Bulletin de la Société astronomique de France. — Années 1895 à 1901; 7 vol. in-8°.

Bureau bibliographique de Paris. — Compte rendu sommaire des Travaux effectués depuis la fondation jusqu'au 1er janvier 1902. — Bruxelles, imp. de l'*Auxiliaire bibliographique*, 1902; 1 opusc. in-8°.

Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. — T. CXXXIV et CXXXV, 1902; 2 vol. in-4°.

Éclairage électrique (L'). — Revue hebdomadaire des transformations électriques, mécaniques, thermiques de l'énergie. Année 1902; 3 vol. in-4°.

Electrician (The). — Vol. XLVIII et XLIX, 1901-1902; 2 vol. in-4°.

Électricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. — 2e série, t. XI; année 1902; in-8°.

Fortschritte der Physik im Jahre 1900, II. — Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn, t. II, 1900, et t. I, II et III, 1901; 4 vol. in-4°.

Guide-Annuaire général des industries, gaz, eau, électricité. — Publié par M. Émile Fleury, 6e année. Paris, Dubuisson, 1901; 1 vol. in-8°.

Institut météorologique de Danemark. Annuaire météorologique pour l'année 1900. — 1 vol. in-4°.

Journal de Physique, théorique et appliquée. — Fondé par J.-Ch. d'Almeida et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, G. Lippmann, E. Mascart, A. Potier. 4e série, 31e année, t. I, 1902; 1 vol. in-8°.

— **Table analytique et Table par noms d'auteurs des trois premières séries du Journal de Physique théorique et appliquée, 1872-1901.** — Dressées par M. E. Bouty et B. Brunhes, avec la collaboration de MM. Bénard, Carré, Couette, Lamotte, Marchis, Maurain, Roy et Sandoz; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet, nos 186 à 195; in-8°.

Journal of the Franklin Institute. — T. CLIII et CLIV, 1902; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg. — T. XXXIV, 1902; 1 vol. in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXXI, 1902; 2 vol. in-8°.

Journal of Physical Chemistry (Ithaca). — Vol. VI, année 1902; in-8°.

Journal de la Société Impériale technique russe. — Année 1902; 1 vol. in-8°.

Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings of the section of Science. — Vol. IV, 25 mai 1901 au 19 avril 1902; 1 vol.; et vol. V (du 3 mai 1902 au 29 novembre 1902); in-8°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs. — 7e série, vol. VI, 1901. Besançon, Dodivers et Cie; 1 vol. in-8°.

Memoirs and Proceedings of the Manchester litterary and philosophical Society. — T. XLVI, part. 2 à 6; in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 54e année, année 1902; 1 vol. in-8°.

Memorias y revista de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico). — T. XVI et T. XVII, n°s 1, 2 et 3, 1902; in-8°.

Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. — **Congrès des Sociétés savantes.** — Discours prononcés à la séance générale du Congrès, le samedi 5 avril 1902, par M. Vidal de la Blache et par M. Bouquet de la Grye. — Paris, imp. nationale, 1902; 1 fasc. in-8°.

— **Comité des travaux historiques et scientifiques.** — Liste des Membres. — Paris, imp. nationale, 1902; 1 fasc. in-8°.

— **Concours général. Distribution des Prix.** — Année 1901; 1 fasc. in-4°.

— **Congrès des Sociétés savantes à Nancy.** — Discours prononcés à la séance générale du Congrès le samedi 13 avril 1901, par MM. Mascart, Pfister, Le Monnier et Decrais. — Paris, imprimerie nationale, 1901; 1 opusc. in-8°.

Mois scientifique et industriel (Le). — Revue internationale d'informations; 3e année, 1902; 1 vol. in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XXIX, année 1902; 1 vol. in-4°.

Nature (de Londres). — Année 1902; 1 vol. in-4°.

Nuovo Cimento (Il). — 4e série, t. III et IV, année 1902; 2 vol. in-8°.

Philosophical Magazine and Journal of Science. — Sixth series, vol. III et IV, 1902; 2 vol. in-8°.

Physical Review. — A Journal of experimental and theoretical Physics, t. XIV et XV, 1902; 2 vol. in-8°.

Mémorial des poudres et salpêtres, publié par les soins du service des poudres et salpêtres avec l'approbation du Ministre de la Guerre. — T. XI, 1er et 2e fasc.; in-8°.

Mitteilungen der physikalischen Gesellschaft Zürich. — N°s 1, 2 et 3, 1902; in-8°.

Nautisk-meteorologisk Aarborg 1901, udgivet of det Danske meteorologiske Institut. — Nautical-meteorological annual 1901, published by the Danisch meteorological Institute. — Kjobenhavn, 1902; 1 vol in-4°.

Observatoire magnétique et météorologique de Zi-Ka-Weï (Chine). — Fondé et dirigé par les Missionnaires de la Compagnie de Jésus. Bulletin mensuel XXIV et XXV, années 1898, 1899; t. XXVI, année 1900. — Shang-Haï, imprimerie de la Mission catholique; 3 vol. in-4°.

Popular Astronomy. — Vol. X, 1902; in-8°. Goodsell Observatory of Carleton College Northfield, Minnesota.

Proceedings of the physical Society of London. — Vol. XVIII, n°s 104 et 105; in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science.— Vol. XXXVI, 1901 ; in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XL, n°s 167 et 170.

Proceedings of the Royal Society. — T. LXX et T. LXXI; in-8°.

Royal Society : Reports to the evolution Committee. — Report I : Experiments undertaken by W. Bateson, F. R. S. and Miss E.-R. Saunders. — London, Harrison and Sons, St. Martin's Lane, 1902; 1 br. in-8°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier, 13e année, 1902; 1 vol. in-4°.

Revue industrielle (La). — Année 1902; 1 vol. in-4°.

Revue des Questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles, T. I et II, année 1902; 1 vol. in-8°.

Royal Dublin Society. — Transactions, vol. VII, part. 8-13; Proceedings, vol. IX, part. 2-4; Economic proceedings, vol. I, part. 2.

Royal Institution of Great Britain weekly evening meeting. — 1902, in-8°.

Royal Observatory Greenwich. — Observations, 1898; 1 vol. in-4°. Appendix II. Second Ten Year Catalogue, 1890.

Rozprawy Akademii Umiejetności. — Waziad Matematyczno-Przyrodniczy (Académie des Sciences de Cracovie). — Serya 2, t. XXIX, 1902.

Rosprawy Wydzialu mathematyczno-przyrodniczego Akademii Umiejetnosci. — T. I. A., 1901 et T. I. B., 1901 ; 2 vol. in-8°.

Science abstracts, Physics and electrical engineering. — Vol. V, 1902; 1 vol. in-8°.

Technology quarterly and Proceedings of the Society of Arts. — Vol. XV, n°s 1 à 3, 1902; 1 vol. in-8°.

Tôkiô Sugaku. — Buturigaku kwai kizi. Maki n° IX, Dai I, 1902; in-8°.

Transactions of the American Institut of Electrical Engineers. — T. XVIII et XIV, 1902; in-8°.

United States Geological Survey. — Tittmann (O.-H.), Superintendent Geodesy. — The Eastern oblique arc of the United States and osculating spheroid. — By Chas et A. Schott, Special publication, n° 7.

— Treasury Annual Report, 1900. — Government printing office 1901 et 1902; 2 vol. in-4°.

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.— Jahrg. 1902; 1 vol. in-8°.

Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Basel. — Band XIII et XIV, 1902; in-8°.

Zeitschrift für Instrumentenkunde. — Année 1902; in-8°.

Shanghaï meteorological Society. — Eighth annual Report for the year 1898 and 1899 : The atmosphere in the far east during the six warm months, its normal state, its perturbations. Hints to navigators. Zi-ka-Wei, printed at the catholic mission press. Tou-sé-wé, orphan's asylum, 1901 ; 2 fasc. in-8°.

— **Appendix to the seventh report of the Shanghaï meteorological Society.** — Atlas of the mean isobars and mean directions of the wind in the far east. Parts 1 et 2; 1900-1901.

Department of the interior United States geological Survey. — Charles-D. Walcott, director : The Geology and mineral resources of a portion of the Copper river district, Alaska, by Franck-Charles Schrader and Arthur Coe Spencer. — Washington, Government Printing Office, 1901; 1 vol. in-4°.

Reconnaissances in the Cape Nome and Norton Bay regions Alaska in 1900. — By Alfred-H. Brooks, George-B. Richardson, Arthur-J. Collier and Walter-C. Mendenhall. — Washington, Government Printing Office, 1901; 1 vol. in-4°.

Die Thätigkeit der physikalisch-technischen Reichsanstalt im Jahre, 1901 (Extr. der *Zeitschrift für Instrumentenkunde,* 1902). 1 opusc. in-8°.

Syllabus of the course pratical instruction in Physics. Part. I, at the Royal College of Science South Kensington. London printed for Her Majesty's stationery office, 1898. 1 vol. in-8°.

Musée rétrospectif de la classe 15. Instruments de précision à l'Exposition universelle internationale de 1900, à Paris. Rapport du Comité d'installation. Saint-Cloud, Belin, 1902. 1 br. in-8°.

Société française des Télégraphes et Téléphones sans fil (Société civile) : La radioconduction et la télégraphie sans fil. 1 fasc. in-4°.

La Télégraphie sans fil, son état actuel et ses chances d'avenir d'après les essais transatlantiques de Marconi (Tirage spécial d'articles parus dans la *Revue de l'Électricité*). Berne, Office polytechnique d'édition et de publicité, 1902. 1 br. in-12.

Armagnat (H.). — Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles. Paris, C. Naud, 1902, 2e édition. 1 vol. in-8°.

Bacon (Rev. Johns-M.). — Scientific Ballooning. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, government printing Office; 1900, 1 fasc. in-8°.

Beaulard (F.). — Sur l'hystérésis électrique. (Extrait des *Annales de l'Université de Grenoble*, t. XIII; 1901). 1 fasc. in-8°.

— Sur la différence de potentiel et l'amortissement de l'étincelle électrique à caractère oscillatoire (Extrait des *Comptes rendus,* 13 janvier 1902). 1 fasc. in-4°.

— Sur l'hystérésis et la viscosité des diélectriques (Extrait des *Comptes rendus*, 30 avril 1900); 1 fasc. in-4°.

— Sur la différence de potentiel et l'amortissement de l'étincelle électrique à caractère oscillatoire (Extrait des *Comptes rendus,* 10 août 1901). 1 fasc. in-4°.

— Sur la différence de potentiel et l'amortissement de l'étincelle électrique à mouvement oscillatoire (Extrait des *Annales de l'Université de Grenoble*, t. XIV, 1902). Grenoble, Allier frères, 1902; 1 fasc. in-8°.

— Sur les paramètres élastiques des fils de soie (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 20 octobre 1902). 1 fasc. in-4°.

Béghin (**A**.). — Analyse du beurre. Indice de saponification et acides volatils solubles. Paris, Société centrale de produits chimiques. 1 fasc. in-8°.

Bellati et **Finazzi** (**L**.). — Sul calore che si produce bagnando le polveri. (Extr. *Atti del Real Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti,* 1901-1902, t. LXI, Parta seconda). 1 fasc. in-8°.

Bénard (**Henri**). — Les tourbillons cellulaires dans une masse liquide propageant de la chaleur par convection, en régime permanent (Thèse), Paris, Gauthier-Villars; 1901. 1 br. in-8°.

Benoit (**René**) et **Guillaume** (**Ch.-Ed**.). — Mètres à bouts (Extr. du Tome XII des *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*). Paris, Gauthier-Villars, 1901. 1 fasc. in-4°.

— Comptes rendus des séances de la troisième Conférence générale des Poids et Mesures, réunie à Paris en 1901. Paris, Gauthier-Villars, 1901, 1 broch. in-4°.

Berger (**Émile**). — Les Écoles pour opticiens dans les différents pays d'Europe. (Extr. de la *Revue générale d'Ophtalmologie*, n° 5, 1902). Clermont, Daix, 1902; 1 fasc. in-8°.

— Die Fachschulen für Optiker in den verschiedenen Staaten Europas (Extr. *Deutsche Mechaniker-Zeitung,* n° 13, 1902). 1 fasc. in-4°.

Bergonié (**J**.). — Du vêtement; étude de Physique biologique (Extr. de la *Revue philomathique de Bordeaux et du Sud-Ouest*, 5e année, n° 3, mars 1902). Bordeaux, G. Gounouilhou; 1902. 1 opusc. in-8°.

Berthelot (**M**.). — Cinquantenaire scientifique 1851-1901, 24 novembre 1901. Paris, Gauthier-Villars; 1902. 1 vol in-4°.

Boltzmann (**L**.). — Leçons sur la théorie des gaz, traduites par M. A. Gallotti, avec une introduction et des notes, par M. M. Brillouin; première Partie. Paris, Gauthier-Villars; 1 vol. in-8°.

Boudouard (Octave). — Recherches sur les équilibres chimiques (Thèse). Paris, Gauthier-Villars; 1901. 1 br. in-8°.

Bougault (Joseph). — Oxydation de l'anéthol et des composés analogues à chaîne latérale propénylique (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1902; in-8°.

Boulanger (J.) et Ferrié (G.). — La Télégraphie sans fil et les ondes électriques, 4e édition augmentée et mise à jour. Paris, Berger-Levrault et Cie, 1902. 1 vol. in-8°.

Buisson (Henri). — Sur une modification des surfaces métalliques sous l'influence de la lumière (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1901. 1 br. in-8°.

Sadi-Carnot. — Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. (Réimpression en fac-similé de l'édition originale de 1824.) Paris, A. Hermann, 1903. 1 br. in-8°.

Capelle (Edouard). — La découverte du carbure de calcium (Extrait de la *Revue des questions scientifiques*, 1901). 1 fasc. in-8°.

— Les fours électriques (Extrait de la *Revue des questions scientifiques*, janvier 1902). 1 fasc. in-8°.

Carrington Bolton (Henry). — An experimental Study of radio-active substances. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8°.

Chamberlain (T.-C.). — On Lord Kelvin adress on the age of the earth an abode fitted for life. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8°.

Chauveau (A.-B.) — Recherches sur l'électricité atmosphérique. Premier Mémoire : Introduction historique et bibliographique à l'étude de l'Électricité atmosphérique. — Deuxième Mémoire : Étude de la variation diurne de l'Électricité atmosphérique (Extr. des *Annales du Bureau central météorologique de France*, année 1900). 2 broch. in-4°.

— Étude de la variation diurne de l'Électricité atmosphérique (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 br. in-4°.

Chwolson (O.-D.). — Lehrbuch der Physik. Erster Band. Braunschweig, Friedr. Vieweg und Sohn, 1902. 1 vol. in-8°.

Congrès international d'Électricité. (Paris, 18-25 août 1901), Rapports et Procès-verbaux publiés par les soins de E. Hospitalier, rapporteur général. Paris, Gauthier-Villars, 1901. 1 vol. in-8°.

Procès-verbaux sommaires du Congrès international d'Électricité, tenu à Paris du 18 au 25 août 1900, par M. Hospitalier. Paris, Imprimerie nationale, 1901. 1 fasc. in-8°.

Cornu (A.). — The wawe theory of light. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8°.

Crémieu (**Victor**). — Recherches expérimentales sur l'électro-dynamique des corps en mouvement (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1901. 1 broch. in-8°.

Crookes (**Sir William**). — On psychical research. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8°.

— Some of the latest achievements of Science. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8°.

Crouzet (**E.**). — Étude sur l'emploi des perspectives et de la photographie dans l'art des levers de terrain (Extrait de la *Revue du Génie militaire*, décembre 1901-janvier 1902). Paris, Berger-Levrault, 1902. 1 opusc. in-8°.

Defacqz (**Édouard**). — Contributions à l'étude du tungstène et de ses composés (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1901. 1 broch. in-8°.

Delaurier. — Sur la pesanteur de l'éther des physiciens (Note manuscrite).

Dewar (**J.**). — Liquid hydrogen. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, government printing Office, 1900. 1 fasc. in-8°.

Ducretet (**E.**). — La Télégraphie hertzienne sans fil aux grandes distances. Paris, Ducretet, 1901. 1 fasc. in-8°.

— Guide pratique de la Télégraphie hertzienne sans fil aux grandes distances. Paris, Ducretet, 1901. 1 fasc. in-8°.

Ducru (**Olivier**). — Recherches sur les arséniates ammoniacaux de cobalt et de nickel. Applications au dosage de l'arsenic (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1900. 1 broch. in-8°.

Dufet (**H.**). — Étude cristallographique et optique des sulfates de néodyme, de praséodyme et de samarium à $8H^2O$ (Extrait du *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, novembre 1901). 1 fasc. in-8°.

Duhem (**P.**). — Thermodynamique et Chimie. Leçons élémentaires à l'usage des chimistes. Paris, A. Hermann, 1902. 1 vol. in-8°.

Favrel (**Georges**). — Contribution à l'étude de quelques hydrazones (Thèse). Nancy, Imp. Nancéienne, 1901. In-8°.

Fonzes-Diacon (**Henri**). — Contribution à l'étude des séléniures métalliques (Thèse). Montpellier, Delord-Boehm et Martial, 1901. 1 br. in-8°.

Foveau de Courmelles. — Des connaissances physiques en Photothérapie (Extrait de la *Revue internationale de Thérapie physique*). 1 opusc. in-8°.

— Des lumières froides et refroidies en Thérapeutique (Extrait du *Bulletin officiel de la Société médicale des praticiens*). 1 fasc. in-8°.

— Les lumières froides et refroidies en Thérapeutique (Extr. *Rev. int. de Thérapie physique*. Rome, 15 juillet 1902). 1 fasc. in-8°.

François (Maurice). — Contribution à l'étude des iodures de mércure et de leurs dérivés ammoniés (Thèse). Paris, G. Carré et C. Naud, 1901. 1 br. in-8°.

Goppelsroeder (Friedrich). — Capillaranalyse beruhend auf Capillaritäts-und Adsorptionserscheinungen mit dem Schlusskapitel : das Emporsteigen der Farbstoffe in den Pflanzen, mit 59 Tafeln. Besel. Em. Birkhauser, 1901. 1 vol. in-8°.

Gregory and Simmons. — Exercices in pratical Physics. London, Macmillan and C°, 1901. 2 vol. in-8°.

Guichard (Marcel). —Recherches sur les oxydes, les sulfures et les iodures de molybdène (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1900. 1 br. in-8°.

Guillaume (Ch.-Ed.). — Note sur l'unité de pression (British Association for the advancement of Science, Glasgow, 1901). Londres, Spottiswoode and C°, 1901. 1 fasc. in-8°.

— The extreme infra-red radiations. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, government printig Office, 1900. 1 fasc. in-8°.

— La convention du mètre et le Bureau international des Poids et Mesures (Extrait du *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, t. CI). Paris, Gauthier-Villars, 1902. 1 br. in-4°.

Guilleminot (H.). — Radioscopie et Radiographie clinique de précision (1° édition). Paris, Radiguet et Massiot, 1902. 1 broch. in-8°.

Guillet (Léon). — Contribution à l'étude des alliages d'aluminium (Thèse). Paris, Philippe Renouard, 1902. In-4°.

Hele-Shaw (H.-S.). — The motion of a perfect liquid. From the Smithsonian Report for 1899. Washington government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8°.

Hemsalech (Gustave). — Recherches expérimentales sur les spectres d'étincelles (Thèse). Paris, A. Hermann, 1901. 1 br. in-8°.

Hess (Albert). — Notice sur ses travaux. Broch. in-8°.

Hoffmann (Johann-Friedrich). — Zur Erinnerung an Ticho Brahe, 1546-1601. (Extrait des *Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Basel*, 1901). 1 opusc. in-8°.

Imbert (Henri). — De quelques dérivés des benzoquinones tétrahalogénées (Thèse). Montpellier, Delord-Boehm et Martial, 1902; 1 broch. in-8°.

Janssen. — Science et Poésie. Mémoire lu à la Séance publique annuelle des cinq Académies du 25 octobre 1902. Paris, Firmin-Didot, 1902. 1 fasc. in-4°.

Kalecsinsky (**Alexandre V.**). — Ueber die ungarischen wärmen und heissen Kochsalzseen als natürliche Wärme-accumulatoren, sowie über die Herstellung von Wärme-accumulatoren. Budapest, 1901. 1 fasc. in-4°.

Lallemand (**Ch.**). — Rapport sur les travaux du service du nivellement général de la France, accompagné de 19 planches de diagrammes figuratifs des circonstances d'exécution des nivellements de premier ordre (Extrait des *Comptes rendus des séances de la Conférence générale de l'Association géodésique internationale tenue à Paris en* 1900. Leyde, E.-J. Brill, 1901. 1 br. in-4°.

Lambling (**Eugène**). — Action de l'isocyanate de phényle sur les quelques oxyacides et leurs éthers (Thèse). Lille, E. Dugardin, 1902. 1 br. in-8°.

Lamotte (**Marcel**). — Recherches expérimentales sur les oscillations électriques d'ordre supérieur (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1901. 1 broch. in-8°.

Lechalas (**Georges**). — The perception of light and color. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, government printing Office, 1900. 1 fasc. in-8°.

Le Chatelier (**H.**) et **Ziegler** (**M.**). — Sulfure de fer, ses propriétés et son état dans le fer fondu (Extrait du *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, septembre 1902); 1 fasc. in-4°.

Leduc (**S.**). — Cytogénèse expérimentale (Extrait de la *Gazette médicale de Nantes*, janvier 1902). 1 fasc. in-8°.

— Études expérimentales sur la diffusion et leurs conséquences biologiques (Extrait de la *Gazette médicale de Nantes*, janvier 1902). 1 fasc. in-8°.

— Emploi du vide de Geissler pour la production des rayons chimiques (Extrait de la *Gazette médicale de Nantes*, décembre 1901). 1 fasc. in-8°.

— Courbe d'ascension thermométrique et calorimétrie clinique (Extrait de la *Gazette médicale de Nantes*, décembre 1901). 1 fasc. in-8°.

Lemström (**Selim**). — Sur la mesure des courants électriques de l'atmosphère par des appareils à pointes (Extrait des *Acta Societatis Scientiarum Fennicæ*, t. XXIX, n° 8, Helsingfors, 1900). 1 fasc. in-4°.

— On the state of liquids in capillary tubes under influence of electrical air-currents (Ofvertryck of Finska Vet.-Soc. Förhand-lingarz. B. XLIII). fasc. in-8°.

Le Sage. — The Le Sage Theorie of gravitation. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, government printing Office, 1900. 1 fasc. in-8°.

Lœwy and Puiseux. — Recent progress accomplished by aid of photography in the study of the Lunar surface. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, Government printing Office, 1900. 1 fasc. in-8°.

Looser. — Thermoscope différentiel. Nouvel appareil pour la conductibilité de la chaleur. Appareil hydrodynamique. Électroscope d'après M. le Professeur Busch. Essen (Ruhr), H.-L. Geck, 1897. 1 br. in-8°.

Lussana (**Silvio**). — Descrizione di un manometro ad aria compressa utilizzabile a qualunque pressione (Extr. *Nuovo Cimento*, 4e série, vol. XII, 1900). 1 fasc. in-8°.

Luraschi (**Arnaldo**). — Considérations sur l'emploi des turbines dans les centrales hydro-électriques. Liége, E. Cloubert, 1902. 1 fasc. in-8°.

Macé de Lépinay (**J.**). — Sur une nouvelle méthode pour la mesure optique des épaisseurs (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 21 avril 1902). 1 fasc. in-4°.

— Sur un nouvel analyseur à pénombres (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 19 novembre 1900). 1 fasc. in-4°.

— Sur les changements de phase qui se produisent sous des incidences voisines de la réflexion totale, mais inférieures à l'incidence limite (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 15 juillet 1901). 1 fasc. in-4°.

— Sur les franges des lames minces au voisinage de la réflexion totale (Extr. du *Journal de Physique*, août 1902). 1 fasc. in-8°.

— Franges d'interférences et leurs applications météorologiques (*Scientia*). Paris, C. Naud, 1902. 1 vol in-8°.

Macé de Lépinay (**J.**) et **Buisson** (**H.**). — Sur une nouvelle méthode de mesure optique des épaisseurs (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 4 août 1902). 1 fasc. in-4°.

Magunna (**H.**) et **Porchon** (**C.**). — Télégraphie multiplex, système E. Mercadier. Paris, L. Braun, 1902. 1 fasc. in-8°.

Maltézos (**C.**). — Les microglobules lenticulaires liquides. Conditions de l'équilibre (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 novembre 1902). 1 fasc. in-4°.

— Sur la chute des corps dans le vide et sur certaines fonctions transcendantes (Extr. des *Nouvelles Annales de Mathématiques*, 4e série, t. II, mai 1902). 1 fasc. in-8°.

— Contribution à l'étude des tuyaux sonores (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 24 mars 1902). 1 fasc. in-8°.

March (**Fr.**). — Action des éthers et cétones monohalogénés sur l'acétylacétone sodée (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1902. 1 br. in-8°.

Marchis (**L.**). — Leçons sur les moteurs à gaz et à pétrole, faites à la Faculté des Sciences de Bordeaux. Paris, Gauthier-Villars, 1901. 1 vol. in-8°.

— Leçons sur les méthodes de mesures industrielles des courants continus, faites à la Faculté des Sciences de Bordeaux, années 1901-1902. 1 vol. in-8° (autographié).

— Le développement de l'industrie des moteurs à gaz et à pétrole (Extr. de la *Revue philomathique de Bordeaux et du Sud-Ouest,* 4ᵉ année, nᵒˢ 1, 2 et 3, 1901). Bordeaux, G. Gounouilhou, 1901. 1 fasc. in-8°.

Mathias (**E.**). — Sur la loi de distribution régulière de la déclinaison et de l'inclinaison magnétique en France, au 1ᵉʳ janvier 1896 (Extrait des *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*). 1 fasc. in-8°.

— Sur le partage du plan en quadrilatères curvilignes équivalents. Toulouse, Douladoure-Privat, 1901. 1 fasc. in-8°.

— L'enseignement supérieur de la Physique en Angleterre. Toulouse, A. Chauvin, 1899. 1 br. in-8°.

— Sur la loi de distribution de la composante horizontale du magnétisme terrestre en France. (Extrait des *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*). 1 fasc. in-8°.

Maupeou d'Ableiges (**Cᵗᵉ de**). — Force et matière : Action comparée des forces sur les solides invariables, élastiques, déformables. Paris, Gauthier-Villars, 1902. 1 vol. in-8°.

Mendelssohn (**M.**). — Les phénomènes électriques chez les êtres vivants (Collection *Scientia*). Paris, C. Naud. 1 vol. in-8°.

Mensbrugghe (**G. Van der**). — Sur un paradoxe hydrodynamique (Extr. du *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* n° 4, 1902). 1 fasc. in-8°.

Meslin (**Georges**). — Sur une forme de thermomètre électrique (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* février 1902). 1 fasc. in-4°.

Metz (**G. de**). — Die elektrische Kapazität des menschlichen Körpers (Extr. *Zeitschrift für Electrotherapie und physikalische Heilmethoden,* nᵒˢ 2-3, 1902). 1 fasc. in-8°.

Niewenglowski (**G.-H.**). — Progress in color Photography. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, government printing Office, 1900. 1 fasc. in-8°.

Paillot (**René**). — Recherches sur les forces électromotrices d'aimantation. Lille, L. Danel, 1901. 1 br. in-8°.

Passalsky (**P.**).— Anomalies magnétiques dans la région des mines de Krivoï-Rog. Odessa. Soc. des travaux topographiques de la Russie méridionale, 1901. 1 br. in-4°.

Paulsen (**Adam**). — Communications préliminaires sur quelques travaux de la mission danoise à Utsjoki. (Extrait du *Bulletin de l'Académie royale des Sciences et des Lettres du Danemark,* 1901). 1 fasc. in-8°.

Pellat (**H.**). — De la distinction que l'on doit établir entre la force électromotrice de contact et la différence de potentiel au contact. Des méthodes qui permettent de mesurer ces grandeurs (Rapport présenté au Congrès international de Physique, réuni à Paris en 1900 sous les auspices de la Société française de Physique). Paris, Gauthier-Villars, 1900. 1 fasc. in-8°.

— Des forces qui agissent sur le flux cathodique placé dans un champ magnétique. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 24 mars 1902). 1 fasc. in-4°.

— Tubes de force d'un champ magnétique rendus visibles par les rayons cathodiques. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 10 février 1902). 1 fasc. in-4°.

— Complément au Mémoire ayant pour titre : Polarisation réelle des diélectriques, conséquence de cette polarisation (Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, décembre 1899). 1 fasc. in-8°.

— Contribution à l'étude des stratifications (Extrait des *Comptes rendus*, février 1900). 1 fasc. in-8°.

— Méthode permettant d'évaluer en valeur absolue les très basses températures (Extrait des *Comptes rendus*, 2 décembre 1901). 1 fasc. in-4°.

— Contribution à l'étude des tubes de Geissler dans un champ magnétique (Extrait des *Comptes rendus*, 23 décembre 1901). 1 fasc. in-4°.

Preece (**W.-E.**). — Signaling trough space without wires. From the Smithsonian Report for 1898. Washington, government printing Office, 1900. 1 fasc. in-8°.

Radiguet et **Massiot**. — Notice sur l'appareil universel de projections destiné aux établissements d'instruction secondaire. 1 fasc. in-8°.

— Notice sur un modèle en réduction au $\frac{1}{25}$ d'une locomotive coupe-vent à grande vitesse P.-L.-M. 1 fasc. in-8°.

— Quelques appareils nouveaux présentés à la Société de Physique. Séance de Pâques 1902. 1 fasc. in-8°.

Rey-Pailhade (**J. de**). — Considérations sur le choix d'une unité physique de temps décimale. (Extr. *Revue internationale de l'Horlogerie*. La Chaux-de-Fonds, 1er octobre 1902). 1 fasc. in-8°.

Rogovsky. — On the temperature and composition of the atmosphere of the planets and the Sun (Extrait de *The astrophysical Journal*, vol. XIV, n° 4, novembre 1901). 1 fasc. in-8°.

Sagnac (**Georges**). — De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1900. 1 br. in-8°.

Schiller (N.). — Zur Thermodynamik ungesättigter Lösungen (Extrait des *Archives néerlandaises et des Sciences exactes naturelles*, 1901). 1 br. in-8°.

— Das Gesetz der Partialdichtigkeitsänderung eines Lösungmittels mit der Concentration der Lösung (Extr. *Annalen der Physik*, Band VIII, 1902). 1 opusc. in-8°.

Severin (Émile-C.). — Produits de condensation de l'acide dichlorophtalique, (Thèse). Paris, L. Boyer, 1900. 1 br. in-8°.

Spring (W.). — Sur les conditions dans lesquelles certains corps prennent la texture schisteuse. (Extrait des *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXIX, Mémoires). 1 fasc. in-8°.

— Sur les causes de la variété des teintes des eaux naturelles et sur la clarification des liquides par l'électricité (Extrait du *Compte rendu du Ve Congrès d'Hydrologie médicale, de Climatologie et de Géologie*). Liége, H. Vaillant-Carmanne, 1901. 1 fasc. in-8°.

— Recherches expérimentales sur la pénétration de l'eau dans le sable et le limon (Extrait des *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXIX, Mémoires). Liége, H. Vaillant-Carvanne, 1902. 1 fasc. in-8°.

Stackelberg (Ed. von). — Die Methoden zur Bestimmung der Lösungswärme beim Sättigungspunkte (Extr. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 1re série, t. XLI, 1902). 1 fasc. in-8°.

Stetefeld (Rich.) — Die drei Kältemaschinen-Systeme : Ammoniak, Schweflige saure und Kohlensäure, zeigen für normale Kühlwasser Temperaturen (+ 10° am Kondensatoreintritt und + 18° bis + 20° am Kondensatoraustritt) hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit keine Abweichungen zu Gunsten des einen oder anderen Systemes, welche eine Systemfrage rechtfertigen (Extr. *Zeitschrift für die gesammte Kälte-Industrie*, 1902). 1 fasc. in-8°.

Stoney (G. Johnstone). — Survey of that part of the range of nature's operations which man is competent to study. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing office, 1901. 1 fasc. in-8°.

Szily (C. de). — Essais à la traction sur cylindres creux soumis à des pressions intérieures (Congrès de Budapest, 1901). Budapest, Pàtria, Société anonyme d'imprimerie, 1901. 1 fasc. in-8°.

Thomson (Elihu). — The field of experimental Research. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8°.

Trillat (Jean-Auguste). — Oxydation des alcools par l'action de contact (Thèse). Paris, C. Naud, 1901. 1 br. in-8°.

Turpain (Albert). — Les applications pratiques des ondes électriques : Télégraphie sans fil. — Télégraphie avec conducteur. — Éclairage commandé à distance. Paris, C. Naud, 1902. 1 vol. in-8°.

Weinberg (Boris). — L'enseignement pratique de la Physique dans 206 laboratoires de l'Europe, de l'Amérique et de l'Australie. Odessa, imp. économique, 1902, 1 vol. in-8°.

Wolf (C.). — Histoire de l'Observatoire de Paris, de sa fondation à 1793. Paris, Gauthier-Villars, 1902. 1 vol. in-8°.

Zepplin's (Count von). — Dirigible air Ship. From the Smithsonian Report for 1899. Washington, government printing Office, 1901. 1 fasc. in-8.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1903.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, PARIS (6e).

(1903.)

BUREAU.

MM. GARIEL (C.-M.), *Président.*
D'ARSONVAL, *Vice-Président.*
ABRAHAM (H.), *Secrétaire général.*
PERRIN (J.), *Secrétaire.*
LEMOINE (J.), *Vice-Secrétaire.*
DE LA TOUANNE, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. BERTHELOT (D.).	1901.	MM. RYKATCHEW (Saint-Pétersbourg).	1901
BOURGEOIS (R.).		CHARPENTIER (Nancy).	
HALLER (A.).		DU BOIS (Berlin).	
LEMOINE (G.).		HOULLEVIGUE (Caen).	
BENOIST (L.).	1902.	BOSE (Calcutta).	1902.
PELLIN (P.).		SAGNAC (Lille).	
RAVEAU (C.).		SPRING (Liége).	
RIBAN (J.).		TURPAIN (Poitiers).	
ARMAGNAT.	1903.	BIRKELAND (Christiania).	1903.
COTTON (A.).		GARBE (Poitiers).	
DONGIER (R.).		IZARN (Clermont-Ferrand).	
PÉROT (A.).		NAGAOKA (Tokio).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM. FIZEAU.
1874.	BERTIN.
1875.	JAMIN.
1876.	QUET.
1877.	BECQUEREL (Ed.).
1878.	BLAVIER.
1879.	BERTHELOT.
1880.	MASCART.
1881.	CORNU.
1882.	GERNEZ.
1883.	JANSSEN.
1884.	POTIER.
1885.	MAREY.
1886.	SEBERT.
1887.	WOLF.
1888.	ROMILLY (de).
1889.	MASCART.
1890.	MALLARD.
1891.	FRIEDEL.
1892.	VIOLLE.
1893.	LIPPMANN.
1894.	JOUBERT.
1895.	CAILLETET.
1896.	BOUTY.
1897.	BECQUEREL (H).
1898.	BENOIT (R.)
1899.	BASSOT.
1900.	CORNU.
1901.	PELLAT.
1902.	POINCARÉ (H.).

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
PELLAT, *Secrétaire général honoraire* (1891-1898).
POINCARÉ (L.), *Secrétaire général honoraire* (1899-1900).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).
GAY, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1891-1898).

MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **KELVIN** (Lord), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

BELL (Alex. Graham), de Washington (États-Unis).

BERTHELOT (M.), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie Française.

JANSSEN (J.), Membre de l'Institut.

MASCART (E.-E.-N.), Membre de l'Institut.

POTIER (A.), Membre de l'Institut.

VAN DER WAALS (G.-D.), Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

DONATEURS (²).

	fr.
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (Baron d'EICHTHAL)	2000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1000

(¹) *Membres honoraires décédés :*

MM. A. Becquerel.	1874-78.
V. Regnault.	1876-78.
Secchi.	1876-78.
Billet.	1876-82.
Plateau.	1880-83.
Jamin.	1882-86.
Edlund.	1884-88.
Broch.	1878-89.
Joule.	1878-89.
Hirn.	1890-90.
Ed. Becquerel.	1882-91.
Fizeau.	1873-96.
Bertrand.	1890-1900.
Rowland.	1893-1901.
Cornu.	1895-1902.
Stokes.	1878-1902.

Extrait des Statuts : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supérieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous

		fr.
MM.	**GUEBHARD**, Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque)........	10000
	ANONYME (pour aider à la publication du volume des *Constantes*)........	5000
	JENNESSON, Principal de Collège (Legs)........	500
	ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)........	5547,50
	BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut........	1500
	SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.	
	JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême.....	500
	ROTHSCHILD (Baron Edmond de)........	300
	CANET........	300
	MARTIN (Ch.), de Chartres (Legs)........	1000
	ANONYME (pour la publication du tome I des *Données numériques*)........	11000
	ANONYME (pour la publication du tome II des *Données numériques*)........	9600
	GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome I des *Données numériques*)........	850,25
	GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome II des *Données numériques*)........	734,25
	COPPET (de) (pour la publication des *Données numériques*)	1000
	ANONYME (pour aider à la publication du tome III des *Données numériques*)........	6000
	ANONYME (pour aider à la publication des Mémoires).	5000
	ANONYME (pour missions scientifiques)........	2000
	NOGUÉ (Émile)........	300

MEMBRES A VIE (1).

MM. * D'Abbadie, Membre de l'Institut.

Abraham (Henri), Maître de Conférences à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5e.

* Abria, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.

---

le titre de Donateurs. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, art. 3, dernier paragraphe.)

* Membres décédés.

MM. * ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de physique.

AMAGAT, Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'Éco' Polytechnique, 19, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

ANCEL (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, rue Brochant. Paris, 17e.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, Professeur à l'Institut National Agronomique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

ARNOUX (René), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

ARSONVAL (Dr D'), Membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome. Paris, 8e.

BABINSKI, Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf. Paris, 10e.

BAUME-PLUVINEL (comte DE LA), 17, rue de Constantine. Paris, 7e.

* BANDSEPT (Albert), Ingénieur.

BARDY (Charles), Directeur honoraire du service scientifique de Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

* BARON, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes.

BASSÉE (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

BECQUEREL (Henri), Membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BECQUEREL (Jean), élève Ingénieur à l'École des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BENOIT (René), Correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

BERTIN, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

BIENAYMÉ, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, à Toulon (Var).

BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

BJERKNES (Wilhelm), chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* BLAVIER, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

BLOCH (Eugène), Agrégé, Préparateur de physique au Collège de France. Paris, 5e.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de La Bourdonnais. Paris, 7e.

MM. **Blondin**, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

Bordé (Paul), Ingénieur-opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

Bordet (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la Cie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

Bourgeois (Léon), Dr ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri-IV. Paris, 4e.

Boulanger (Julien), Lieutenant-Colonel du Génie, Directeur des Services de la Télégraphie militaire et du Matériel de guerre du Génie, 2, rue Lecourbe. Paris, 15e.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

Branly (Dr E.), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7e.

* **Bréguet** (Antoine), Ancien élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5e.

Brillouin, Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

* **Brion**, Professeur au Lycée Saint-Louis.

* **Brisse** (Ch.), Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Broca (Dr André), Répétiteur à l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau. Paris, 7e.

Brunhes (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.

* **Buchin**, Ingénieur électricien.

* **Cabanellas**, Ingénieur électricien.

Cadot, Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

Cailho, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.

Canet, Directeur de l'Artillerie de MM. Schneider et Cie, Ancien Président de la Société des Ingénieurs civils, 87, avenue Henri-Martin. Paris, 16e.

Carpentier (Jules), Ingénieur-Constructeur, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

Carimey, Professeur au Lycée Saint-Louis. Paris, 6e.

Carvallo, Examinateur des élèves à l'Ecole Polytechnique, 1, rue de Clovis. Paris, 5e.

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

MM. * Cauro (Joseph), Docteur ès sciences, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.

Chairy, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 6e.

Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

* Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille.

Chauveau, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 51, rue de Lille. Paris, 7e.

Chauvin (Raphaël), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet. Paris, 18e.

Chaves (Antonio-Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janerio (Brésil).

* Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis.

Claverie, Censeur au Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9e.

Clément (Louis), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin, Paris, 9e.

Compagnie des chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire. Paris, 9e.

* Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin.

Coppet (de), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

* Cornu (A.), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.

Courtois (l'abbé F.), Missionnaire, Église Saint-Joseph, à Chang-Haï (Chine).

Culmann (Paul), Docteur ès sciences, 28, rue Vauquelin. Paris, 5e.

Curie (Mme), Professeur à l'École normale supérieure d'Enseignement secondaire pour les Jeunes filles, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

Curie (Pierre), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 108, boulevard Haussmann. Paris, 13e.

Dambier, Professeur au Collège Stanislas, 44, rue de Fleurus. Paris, 6e.

Defforges (Colonel G.), commandant le 36e régiment d'Infanterie, 12, rue Saint-Gabriel, Caen (Calvados).

Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

Diot, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

* Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Mulhouse (Alsace).

Dongier, Docteur ès Sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

MM. DROUIN (Félix), 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret (Seine).

* DUBOSCQ (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 39, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

DUCLOS, Ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Fabut (Ariège).

DUFET (H.), Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5e.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

DURAND, Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5e.

DYBOWSKI, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12e.

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 2, rue Rosa-Bonheur. Paris, 7e.

FAIVRE-DUPAIGRE, Inspecteur d'Académie, 95, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7e.

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

FONTAINE (Hippolyte), Ingénieur électricien, 58, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

FOUSSEREAU, Docteur ès sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

FOVEAU DE COURMELLES (Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

FREDET (Henri), Industriel, à Brignoud (Isère).

* FRIEDEL, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

GALIMARD, Industriel, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

GALL (Henry), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

GARIEL (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

GASCARD (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

GAUMONT (L.), Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch. Paris, 1er.

* GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur.

GAY (Jules), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6e.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

GERNEZ, Maître de conférences à l'École normale supérieure, 80, rue d'Assas. Paris, 6e.

MM. Godard (Léon), Docteur ès sciences, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

Goisot (G.), Ingénieur de la Société anonyme des anciens Établissements Parvillée frères et Cie, 10, rue Bélidor. Paris, 17e.

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus).

Gouré de Villemontée, Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5e.

Gramont (Arnaud de), Docteur ès sciences, 81, rue de Lille. Paris, 7e.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co limited, à Londres (Angleterre).

Grosseteste (William), Ingénieur, 67, avenue Malakoff. Paris, 16e.

Grouvelle, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Guébhard (Dr Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

* Hugo (comte Léopold).

Hamy (Maurice), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6e.

Hemptinne (Alexandre de), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

Husson (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph,* Expert de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* Jamin, Membre de l'Institut.

Janet (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four. Paris, 6e.

Javal, Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La Tour-Maubourg, Paris, 7e.

* Javal (Jean), 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

Javaux (Émile), Administrateur-Directeur de la Société *Gramme,* 20, rue d'Hautpoul. Paris, 19e.

* Jennesson, Ancien Principal.

Jénot, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulincourt. Paris, 18e.

Jeunet, Professeur honoraire, 15, avenue de la Défense-de-Paris. Puteaux (Seine).

Jobin (A.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

MM. * Joly, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

Joubert, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15e.

* Kerangué (Yves de), Capitaine en retraite.

Knoll, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand. Paris, 5e.

Kœchlin (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

Korda (Désiré), Ingénieur Chef du service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin. Paris, 9e.

Korolkoff (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

Krouchkoll, Docteur ès sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

Lacour, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17e.

Laprésté, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet. Paris, 15e.

Laurent (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon. Paris, 5e.

Laviéville, 14, rue Soufflot, Paris, 5e.

Le Bel, Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin. Paris, 16e.

Leblanc, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy (Seine).

* Lechat, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand.

Le Chatelier (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara. Paris, 5e.

* Le Cordier (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

Leduc (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel.

Lefebvre (Pierre), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

Lemoine (E.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef honoraire du Service de la vérification du Gaz, 4, boulevard de Vaugirard. Paris, 15e.

* Lemonnier, Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 2e.

MM. Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

* Létang (Paul), Ingénieur électricien.

Létang (Dr Marc), 12, rue Desrenaudes. Paris, 17e.

Limb, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et Cie de Lyon, 8, quai d'Occident, à Lyon.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 5e.

Lyon (Gustave), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart. Paris, 9e.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'Ecole des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

* Mallard, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

Maneuvrier, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne. Paris, 5e.

Marie, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne. Paris, 4e.

* Martin (Ch.) de Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université. Paris, 7e.

Massin, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

* Masson (G.), Libraire-Éditeur.

Maurain, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Rennes (Ille-et-Vilaine).

* Maurat, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

Menier (Henry), 8, rue de Vigny. Paris, 8e.

Meslin (G.), Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier (Hérault).

Mestre, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

Métral (Pierre), Agrégé des Sciences Physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10e.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Michel (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy. Paris, 10e.

Molteni (A.), 15, rue Origet, à Tours (Indre-et-Loire).

* Moncel (Comte du), Membre de l'Institut.

Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liége (Belgique).

Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse, 25, à Vienne (Autriche).

MM. MUIRHEAD (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court. Temple E. C., Londres (Angleterre).

NAGAOKA (H.), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

NERVILLE (DE), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8e.

NOGUÉ (Émile), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6e.

* NIAUDET, Ingénieur civil.

OGIER (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7e.

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 2, rue Manuel. Paris, 9e.

OUMOFF (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

PALMADE (F.), Chef de Bataillon du Génie, Chef du Dépôt central de la Télégraphie Militaire, 51 *bis*, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

PATTE (Lucien), Professeur au Lycée, 12, rue Louis-Joblot, à Bar-le-Duc (Meuse).

PAVLIDÈS (Démosthènes), Docteur en Médecine.

PELLAT (H.), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

PÉRARD (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liége (Belgique).

* PÉROT, Dessinateur et Graveur.

PÉROT (Alfred), Directeur du Laboratoire d'Essai au Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin. Paris, 3e.

PERREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PERRIER (Lieutenant), État-Major de l'Armée, Service géographique, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

PICOU (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 47, rue Saint-Ferdinand. Paris, 17e.

PILTSCHIKOFF (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

POINCARÉ (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 10, rue de Babylone. Paris, 7e.

POINCARÉ (Lucien), Inspecteur général de l'Instruction Publique, 130, rue de Rennes. Paris, 6e.

POLLARD (Jules), Directeur de l'École d'Application du Génie maritime, 140, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

POPP (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

MM. Poussin (Alexandre), Ingénieur, 7, rue de l'Équitation, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Pupin, Docteur en Médecine, 27, quai de la Tournelle. Paris, 5e.

Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland. Paris, 8e.

* Raffard (N.-J.), Ingénieur.

Raveau (C.), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 2, rue du Sommerard. Paris, 5e.

Raymond, Ingénieur principal des Messageries maritimes à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Renault (Albert), Chimiste, 6, rue de Lunain. Paris, 14e.

Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam. Paris, 16e.

* Rigout (A.), Docteur en Médecine.

Rilliet, Professeur à l'Université, 16, rue Bellot, à Genève (Suisse).

Rivière (Charles), Professeur au Lycée Saint-Louis, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

Rodde (Ferd.), 61, rue Rochechouart. Paris, 9e.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8e.

* Roger, Chef d'institution honoraire.

Romilly (Félix de), 25, avenue Montaigne. Paris, 8e.

Romilly (Worms Paul de), Ingénieur en chef des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8e.

Rothschild (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont. Paris, 5e.

Sainte-Claire Deville (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville. Paris, 17e.

* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

Saintignon (F. de), Maître de Forges à Longwy (Meurthe-et-Moselle).

* Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.

Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Sebert (le Général), Membre de l'Institut, Administrateur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

Seligmann-Lui, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart. Paris, 16e.

Sentis, professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

Serpollet, Ingénieur, 9, rue de Stendhal. Paris, 20e.

Siegler (Jean), Élève ingénieur à l'École des Mines, 48, rue Saint-Lazare, Paris, 9e.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres (Angleterre).

Strauss, Lieutenant-Colonel Chef du Génie, 2, rue Ronchaux, à Besançon (Doubs).

MM. STREET (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 56, rue de Londres. Paris, 9ᵉ.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

* TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

* THOLLON, Physicien à l'Observatoire de Nice.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes. Paris, 5ᵉ.

TOMBECK, Docteur ès sciences, 59, boulevard Pasteur, Paris, 15ᵉ.

TOUANNE (G. DE LA), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon. Paris, 6ᵉ.

TROOST, Membre de l'Institut, 84, rue Bonaparte. Paris, 6ᵉ.

TULEU, Ingénieur, 58, rue Hauteville. Paris, 10ᵉ.

ULLMANN (Jacques), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis. Paris, 10ᵉ.

VAGNIEZ (Edouard), à Amiens (Somme).

* VAN DEN KERCHOVE, Sénateur, Gand (Belgique).

* VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique.

VAUTIER (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

* VERRIER (J.-F.-G.).

VILLARD (P.), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5ᵉ.

VILLIERS (Antoine), Professeur à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire, Paris, 14ᵉ.

VINCENT (G.), Professeur au Lycée Saint-Louis, 207, rue de Vaugirard. Paris, 15ᵉ.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5ᵉ.

WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7ᵉ.

WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17ᵉ.

* WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut.

WEISS (Dʳ Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16ᵉ.

WEISS (Pierre), Professeur à l'Institut de Physique de Zurich (Suisse).

WERLEIN (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5ᵉ.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère. Paris, 17ᵉ.

MM. * **Wunschendorff**, Ingénieur-Administrateur des Postes et des Télégraphes.

Wyrouboff, Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

Becker, Préparateur de Physique au Collège Rollin, avenue Trudaine. Paris, 9e.

Béclère (Dr Antoine), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 5, rue Scribe. Paris, 9e.

Berger (Dr Emile), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge. Paris, 17e.

Bloch (Salvator), Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

Bourgarel (Paul), Professeur au Lycée de Grenoble (Isère).

Buisson (H.), Docteur ès sciences, Agrégé préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

Collin (Th.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

Cotton (A.), Chargé de Conférences à l'École normale supérieure, 8, rue Nicole. Paris, 5e.

Crémieu (Victor), Docteur ès Sciences, 15, rue Soufflot. Paris, 5e.

Gérard (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières. Paris, 18e.

Ginsberg (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss.

Huet (Ernest), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob. Paris, 6e.

Jacobs (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

Morize (Henri), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Professeur de physique à l'École Polytechnique, rua Princeza Impérial, n° 20, Antiago, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

Nodon (Albert), Ingénieur Conseil, 69, rue Madame. Paris, 6e.

Perrin (Jean), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 18, boulevard Arago. Paris, 14e.

Prieur (Albert), Industriel, 76, boulevard Malesherbes. Paris, 6e.

Rothé, Agrégé Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

Sagnac (G.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 13, place Simon-Vollant, à Lille (Nord).

Timiriazeff, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

Wuilleumier (H.), Docteur ès Sciences, 20 *bis*, rue Chaptal. Paris, 9e.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRAHAM (**Henri**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

ADAM (**Étienne**), Professeur au Lycée, 32, rue du Téméraire, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ALBERTOTTI (**Guiseppe**), Professeur d'Oculistique à l'Université de Modène (Italie).

ALLAIRE (**G.**), Chef des travaux de Physique à l'École de Médecine et de Pharmacie, 2, rue Haudaudine, à Nantes (Loire-Inférieure).

ALLARD (**Félix**), Docteur en Médecine, 23, rue Blanche. Paris, 9e.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

AMAGAT (**E.-H.**), Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

AMES (**Joseph-S.**), Professor of Physics, Director of the Physical Laboratory, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland (U. S. A.).

ANCEL (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, rue Brochant. Paris, 16e.

ANDRAULT (**Louis-Gustave-Adolphe**), chargé de Cours de Physique au Lycée, 5, avenue de Veynes, à Gap (Hautes-Alpes).

ANDRÉ (**Ch.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon (Rhône).

ANGOT (**Charles-Alfred**), Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, Professeur à l'Institut national agronomique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

ANTHONISSEN (**Joseph**), 21, rue Hauteville. Paris, 10e.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres. Paris, 8e.

ARGYROPOULOS, Recteur de l'Université, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 7, rue Bosio. Paris, 16e.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

ARNOYE (**Léon**), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

ARSONVAL (Dr **d'**), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences. 7, rue de Rigny, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 40, rue Denfert-Rochereau. Paris, 5e.

AUBEL (Dr **Edmond van**), Professeur à l'Université de Gand, chaussée de Courtrai, 131¹, à Gand (Belgique).

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 13, rue Bernoulli. Paris, 8e.

MM.

AUBERT (**Paul**), Professeur au Collège Stanislas, 2 *bis*, rue de l'Orangerie, à Meudon (Seine-et-Oise).

AUBRY (**Alfred-Joseph**). Professeur au Lycée de Saint-Étienne (Loire).

AUPAIX (**Charles**), Professeur au Lycée, 8, place Saint-Hilaire, à Niort (Deux-Sèvres).

BABINSKI (**Henri**), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

BABLON, 42, rue Boulard. Paris, 14e.

BAGARD, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, boulevard Thiers, à Dijon (Côte-d'Or).

BAILLAUD (**B.**), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

BAILLAUD (**Jules**), Aide-astronome à l'Observatoire de Lyon, à Saint-Genis-Laval (Rhône).

BAILLE (**J.-B.**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 26, rue Oberkampf. Paris, 11e.

BANET-RIVET (**P.**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 4, rue de Siam. Paris, 16e.

BARBASTE (**Antoine**), Licencié ès sciences physiques, à Antrain-sur-Couesnon (Ille-et-Vilaine).

BARBÉ (Dr), 54, rue Cazault, à Alençon (Orne).

BARBILLON (**Louis**), Docteur ès Sciences physiques, Ingénieur électricien diplômé, 168, rue de Paris, à Vincennes (Seine).

BARDY (**Charles**), Directeur honoraire du Service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

BARNES (**Howard-Turner**), Doctor of Science, Assistant Professor of Physics, Dept. of Physics, Mc Gill University, Montreal (Canada).

BARRET (**G.**), Docteur en Médecine, 1, rue Lavoisier. Paris, 8e.

BARTH (**Johann-Ambrosius**), Libraire, Rossplatz, 17, à Leipzig (Allemagne).

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

BASSAC, Professeur au Lycée de Marseille (Bouches-du-Rhône).

BASSÉE (**Jules-Charles**), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

BASSET (**Alphonse**). Professeur au Lycée de Bourges (Cher).

BASSOT (le Général), Membre de l'Institut, Directeur du Service géographique de l'Armée, 138, rue de Grenelle. Paris, 7e.

BATTELLI (**Angelo**), Professeur à l'Université de Pise (Italie).

BAU, Répétiteur général au Lycée de Tunis (Tunisie).

BAUDEUF-BAYARD (**Mme Henriette**), Professeur au Lycée de Jeunes filles, 97, rue Bègles, à Bordeaux (Gironde).

BAUME-PLUVINEL (Comte **Aymar de la**), 17, rue de Constantine. Paris, 7e.

BAUMHARDT, Agrégé de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BEAULARD (**Fernand**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 1, rue Président Carnot, à Grenoble (Isère).

MM.

BECKER, Préparateur au Collège Rollin, avenue Trudaine. Paris, 9e.

BECLÈRE (Dr **Antoine**), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 122, rue de la Boëtie. Paris, 8e.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal, à Grasse (Alpes-Maritimes).

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BECQUEREL (**Jean**), Élève Ingénieur à l'École nationale des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine, 15, rue Masséna, à Lille (Nord).

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine, 21, quai de Montebello. Paris.

BÉGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, Directeur du Laboratoire municipal, 50, rue du Tilleul, à Roubaix (Nord).

BEL (**Edgar**), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).

BEL (**Alexander-Graham**), 1331, Connecticut Ave., Washington, Dr C. (U. S. A.).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BÉNARD (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 35 *bis*, rue de Condé, à Lyon (Rhône).

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIST (**Louis**), Professeur au Lycée Henri IV, 26, rue des Écoles. Paris, 5e.

BENOIT (Dr **René**), Correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise).

BERG (**Max**), Ingénieur de la Maison Krauss, 21, rue Albouy. Paris, 10e.

BERGER (**Dr Émile**), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge. Paris, 17e.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences, attaché au Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

BERGON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 9, rue de Condé. Paris, 6e.

BERGONIÉ (**Dr**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).

BERGONIER (**G**), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 29, rue Tastet, à Bordeaux (Gironde).

BERLEMONT, Constructeur d'instruments de précision, 11, rue Cujas. Paris, 5e.

BERNARD (**Alfred**), Professeur en retraite, 16, rue Héliot, à Toulouse (Haute-Garonne).

BERNARD (**Louis**), Professeur au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans (Loiret).

MM.

BERNARD, Professeur au Collège d'Apt (Vaucluse).

BERNOULLI (Dr **Rud.**), Spicherntrasse, 78, à Cologne (Allemagne).

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Assistant au Muséum, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTIN, Directeur des Constructions navales au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

BERTIN-SANS (Dr **Henri**), Professeur à la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier (Hérault).

BERTOUX, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

BESOMBES (**Noël**), Directeur des Postes et des Télégraphes, à Nîmes (Gard).

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Chef de l'Agence à la Compagnie générale transatlantique, à Alger (Algérie).

BÈTOUX (**Victor**), Professeur au Lycée, 22, boulevard Saint-André, à Beauvais (Oise).

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS DE CAEN.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences, 6, rue des Jardiniers, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BIED (**Jules**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Directeur du Laboratoire de la Société J. et A. Pavin de Lafarge, Le Teil (Ardèche).

BIENAYMÉ (**A.-F.-A.**), Inspecteur général du Génie maritime, en retraite, Correspondant de l'Institut, 14, rue du Revel, à Toulon (Var).

BIGET (**Albert**), Percepteur des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BIRKELAND (**Kristian**), Professeur à l'Université de Christiania (Norvège).

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

BJERKNES (**Vilhelm**), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion, à Bordeaux (Gironde).

BLASERNA (**P.**), Sénateur, Professeur à l'Université, R. Instituto fisico, via Pianisperna, à Rome (Italie).

BLOCH (**Salvador**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

BLOCH (**Eugène**), Agrégé, Préparateur de Physique au Collège de France. Paris, 5e.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue de La Rochefoucauld. Paris, 9e.

MM.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais. Paris, 7e.

BLONDIN (Joseph), Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

BLONDLOT (R.), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BLUMBACH (Theodor), Membre de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire de Russie, Perspective de Zabalkousky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOCAT (l'abbé), Licencié ès sciences physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon (Côte-d'Or).

BODOLU (de), Professeur de Géodésie à l'École Polytechnique de Budapest (Hongrie).

BOISARD (Louis), Professeur au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram Paris, 17e.

BOITEL (Louis-Albert), Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

BOIZARD, Professeur au Lycée de Coutances (Manche).

BONAPARTE (Prince **Roland**), 10, avenue d'Iéna. Paris, 16e.

BONGIOVANNI (Joseph), Professeur de Physique à l'Université Farrara (Italie).

BORDÉ (Paul), Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

BORDENAVE (L.), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne (Seine-et-Marne).

BORDET (Lucien), Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 6e.

BORDIER (Dr **Henri**), Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Thomassin, à Lyon (Rhône).

BORGMANN (J.-J), Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOSE (Jagadis, Chunder), Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).

BOUASSE (Henri), Professeur à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse (Haute-Garonne).

BOUCHARD (Dr), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine, 174, rue de Rivoli. Paris, 1er.

BOUCHEROT (Paul), Ingénieur Conseil, 14, rue Daumier. Paris, 16e.

BOUDREAUX (Léon), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille. Paris, 6e.

BOUDRET (Eugène), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 39, rue Vital. Paris, 16e.

BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée, 27, rue Saint-Léonard, à Angers (Maine-et-Loire).

MM.

BOULANGER (**Julien**), Lieutenant-Colonel du Génie, Directeur des Services de la Télégraphie militaire et du Matériel de Guerrre du Génie, 2, rue Lecourbe, Paris, 15e.

BOULÉ (**Auguste**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 7, rue Washington. Paris, 8e.

BOULGAKOFF, Privat docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux (Gironde).

BOURGAREL (**Paul**), Professeur au Lycée de Grenoble (Isère).

BOURGEOIS (**Léon**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri-IV. Paris, 4e.

BOURGEOIS (**Robert**), Chef d'escadron d'Artillerie, Chef de la Section de Géodésie au Service Géographique de l'armée, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

BOURGET (**Henry**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Astronome adjoint à l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

BOUTY (**E.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

BOZZOLA (l'abbé **J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRANAS (**Fernander-Gonzalo**), Professeur à l'Institut Provincial Ancha de San Andres, 3, La Coruna (Espagne).

BRANLY (**E.**), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7e.

BREWER (**William-J.**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5e.

BRIEU (Mme), à Saint-Céré (Lot).

BRILLOUIN (**Marcel**), Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du Gaz, 58, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

BROCA (Dr **André**), Répétiteur à l'École Polytechnique, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau, Paris, 7e.

BROCQ (**F.**), Ingénieur en chef à la Compagnie des Compteurs, 185, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

BROGLIE (M. de), Enseigne de vaisseau à bord du Saint-Louis, à Toulon (Var).

BROUQUIER (l'abbé), Directeur du Petit Séminaire de Toulouse (Haute-Garonne).

BROWNE (**H.-V.**), Directeur de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNEL, Lieutenant d'Artillerie à la Commission Centrale de réception des Poudres, à Versailles (Seine-et-Oise).

BRUNET (**Maurice**), Professeur au Lycée de Bastia (Corse).

BRUNHES (**Bernard**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, 37, rue Montlosier, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MM.

BUCHERER (Alfred), Dr. Phil. Privat Docent de Physique à l'Université de Bonn (Allemagne).

BUDDE (Dr E.), Professeur, Alt Moabit, 89, à Berlin, N. W. (Allemagne).

BUGUET (Abel), Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 14, rue des Carmes, à Rouen (Seine-Inférieure).

BUISSON (Henri), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

CADENAT, Professeur au Collège, 3, rue Poyat, à Saint-Claude (Jura).

CADIAT, Ingénieur, rue Sainte-Cécile, à La Valette, près Toulon (Var).

CADOT (Albert), Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.

CAILLETET (L.-P.), Membre de l'Institut, 75, boul. Saint-Michel. Paris, 5e.

CALMETTE (Louis), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à la Flèche (Sarthe).

CAMBOULAS, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Saint-Geniès-d'Olt (Aveyron).

CAMICHEL (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences, 11, rue Bayard, à Toulouse (Haute-Garonne).

CAMMAN, 35, rue de la Bibliothèque, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CANCE (Alexis), Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul. Paris, 10e.

CANET (Gustave-Adolphe), Directeur de l'Artillerie de MM. Schneider et Cie, Président de la Société des Ingénieurs civils, 87, avenue Henri-Martin. Paris, 16e.

CAPELLE (Édouard), 82, rue Bonaparte. Paris, 6e.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

CARPENTIER (Jules), Ingénieur-Constructeur, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARPENTIER (Jean), 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARRÉ (F.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 127 *bis*, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

CARVALLO (E.), Examinateur des élèves à l'École Polytechnique, 1, rue Clovis. Paris, 5e.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs. Paris, 1er.

CASPARI (E.), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

CASSAN (Dr Antony), Médecin électricien, 5, rue des Pénitents, à Nantes (Loire-Inférieure).

CASSIE (William), Professor of Physics Brantwood, Englefield Green, Surrey (Angleterre).

CASTEX (Edmond), Professeur à l'École de Médecine de Rennes, 16, rue Bertrand, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MM.

CAVIALE (**V.**), Directeur de l'Institution Bertrand, 52, avenue de Saint-Cloud, à Versailles (Seine-et-Oise).

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 36, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 8, rue Picot. Paris, 16e.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac, à Sarran par Corrèze (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, 83, rue Denfert-Rochereau, Paris, 14e.

CHADENSON, Conducteur des Ponts et Chaussées, à Tence (Haute-Loire).

CHAIR, Professeur au lycée, 9, rue Cassotte, à Besançon (Doubs).

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

CHAMPIGNY (**A.**), Ingénieur opticien, 11, rue de Berne. Paris, 8e.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts. Paris, 6e.

CHAPPUIS (**Pierre**), Sevogelstrasse, 34, à Bâle (Suisse).

CHARDONNET (le comte **de**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue Cambon. Paris, 1er.

CHARLE (**Henri**), Professeur au Collège de Melun (Seine-et-Marne).

CHARPENTIER (Dr **A.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 31, rue Claudot, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CHARPY (**G**), Docteur ès sciences, 27, av. de la Gare, Montluçon (Allier).

CHASSAGNY (**Michel**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 29, rue Davioud. Paris, 16e.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des sciences, à Lyon (Rhône).

CHATEAU (**C.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 16, rond-point de la Porte-Maillot, à Neuilly-sur-Seine.

CHATELAIN (**Michel**), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT (**Henri**), Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité, 26, rue Ernest-Renan. Paris, 15e.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jussieu. Paris, 5e.

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille. Paris, 7e.

CHAUVIN (**Raphaël**), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet. Paris, 18e.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHENEVEAU (**C.**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 229, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

MM.

CHEVALLIER (**Henry**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'Électricité industrielle, 8, rue Villedieu, à Bordeaux (Gironde).

CHISTONI (**Ciro**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHUDEAU (**René**), Professeur au Lycée de Constantine (Algérie).

CHWOLSON (**Oreste**), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8 ligne, Maison n° 19, Log. n° 5, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CLAVEAU, Professeur au Lycée, 13, rue Amiral-Linois, à Brest (Finistère).

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9e.

CLÉMENT (**Louis**), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

CLERGET, Ingénieur civil, 99, rue Oberkampf, Paris, 11e.

COGNET (**Alfred**), Professeur au Collège, avenue de la Gare, à Bergerac (Dordogne).

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille (Nord).

COLARDEAU (**Emmanuel**), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin. Paris, 9e.

COLLANGETTES (R. P.), Professeur à l'Université Saint-Joseph, à Beyrouth. (Syrie).

COLLIGNON (**Benoît**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon (Côte-d'Or).

COLIN (**Th.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Victor-Considérant. Paris, 14e.

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet. Paris, 14e.

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie royale de Belgique, ancien Directeur des finances à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Akademia utexa, 2, à Budapest (Hongrie).

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe. Paris, 16e.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY, à New-York (États-Unis), chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6e.

COMBES (**Charles**), 15, rue Bara. Paris, 6e.

COMBET (**Candide**), Professeur au Lycée de Tunis, quartier Sans-Soucis (Tunisie).

COMMANAY, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 94, boulevard Haussmann, Paris, 9e.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire. Paris, 9e.

COPPET (**de**), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 1, place Sainte-Marguerite, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

COSTA (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine, Calle Vittoria, 1094, Buenos-Ayres (République Argentine).

COTTON (**A.**), Chargé de Conférences à l'École Normale supérieure, 8, rue Nicole. Paris, 5e.

MM.

COUDERT (**A.**), Professeur au Lycée d'Amiens (Somme).

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique aux Facultés Catholiques, 26, rue de la Fontaine, à Angers (Maine-et-Loire).

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise (Indre-et-Loire).

COURQUIN (l'abbé), Professeur à l'École industrielle, 70, rue du Casino, à Tourcoing (Nord).

COUTOIS (l'abbé **F.**), Missionnaire, Église Saint-Joseph, à Chang-Haï (Chine).

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CRÉMIEU (**Victor**), Docteur ès sciences physiques, 6, rue d'Ulm. Paris, 5ᵉ.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, place de l'Église, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université de Montpellier (Hérault).

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 12, rue Diday, à Genève (Suisse).

CULMANN (**Paul**), Docteur ès sciences, Collaborateur scientifique de la maison Zeiss, 28, rue Vauquelin. Paris, 5ᵉ.

CURIE (Mᵐᵉ), Professeur à l'École Normale supérieure d'Enseignement secondaire pour les Jeunes filles, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13ᵉ.

CURIE (**Pierre**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13ᵉ.

DAGUENET (**P.-C.**), Professeur au Lycée Hoche, 7, rue Mademoiselle, Versailles (Seine-et-Oise).

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 44, rue de Fleurus. Paris, 6ᵉ.

DAMIEN (**B.-C.**), Doyen de la Faculté des Sciences, 74, rue Brûle-Maison, Lille (Nord).

DARMON, Professeur au Prytanée militaire de La Flèche (Sarthe).

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, avenue Ledru-Rollin. Paris, 12ᵉ.

DAUVÉ (**Camille-Albert**), Professeur de Physique au Collège Monge, à Beaune (Côte-d'Or).

DECHEVRENS (le R. P. **Marc**), S. J., Ancien Directeur de l'observatoire Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DÉCOMBE (**Louis**), Docteur ès sciences, impasse Reille, Paris, 14ᵉ.

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi (Tarn-et-Garonne).

DEFFORGES (le Colonel **G.**), Commandant le 36ᵉ régiment d'Infanterie, 12, rue Saint-Gabriel, à Caen (Calvados).

DELATTRE (**Félix**), Ingénieur de la Société anonyme de l'Alma, 34, rue Nain, à Roubaix (Nord).

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture à Novo-Alexandria, gouvernement de Lublin (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre, Paris, 14ᵉ.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

MM.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 136, cours Lieutaud, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DELMAS (Léon-Théodore), Licencié ès sciences, 5, rue Henri-Theulières, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

DELPEUCH, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 74, rue de Dunkerque. Paris, 9e.

DÉPOT CENTRAL DE LA TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE, 51, boulevard de La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

DELVALEZ (G.), Professeur au Lycée Condorcet, 16, avenue Ledru-Rollin. Paris, 12e.

DEMERLIAC (R.), Professeur au Lycée, 33, rue Bosnière, à Caen (Calvados).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais. Paris, 4e.

DEPREZ (Marcel), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes (Seine).

DERO (Louis-Émile-Léonce), Ingénieur civil, 101, rue Tourneville, Le Havre (Seine-Inférieure).

DESCHAMPS (Dr Eugène), 22, rue de la Monnaie, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

DESLANDRES (H.), Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, 43, rue de Rennes. Paris, 6e.

DESLIS, Imprimeur, 6, rue Gambetta, à Tours (Indre-et-Loire).

DESPRATS (André), Principal honoraire, route de Villeneuve, à Lons-le-Saunier (Jura).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot. Paris, 9e.

DETAILLE (Charles), Professeur au Lycée, 81, rue du Couédic, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

DEVAUD, Professeur au Lycée, 35, boulevard Marenthié, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

DEVAUX (Henri), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde)

D'HENRY (Louis), Ingénieur chimiste et électricien, 6, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

DIERMAN (William), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme des applications de l'Électricité, 93, rue Hayeneux, à Liége (Belgique).

DIGEON (J.), Ingénieur-Constructeur, 15, 17 et 19, rue du Terrage. Paris, 10e.

DINI (Urbain), 95, route de Saint-Leu, à Deuil, par Enghien (Seine-et-Oise).

DININ (Alfred), Ingénieur des Arts et Manufactures, 69, rue Pouchet. Paris, 17e.

DIOMARD, Professeur au Lycée d'Auch (Gers).

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

DITISHEIM (Paul), Fabricant de chronomètres, 11, rue de la Paix, à la Chaux-de-Fonds (Suisse).

DOIGNON (L.), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

MM.

DOMERGUE (E.), Résident à Haïphong (Tonkin).

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson. Paris, 17ᵉ.

DONGIER (Raphaël), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

DORGEOT (Gabriel), Capitaine commandant l'Artillerie de l'arrondissement de Caen (Calvados).

DOUMER (Dʳ), Professeur à la Faculté de Médecine de Lille (Nord).

DRAULT, Constructeur Électricien, 57, boulevard du Montparnasse. Paris, 6ᵉ.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 10, place Bréda. Paris, 9ᵉ.

DREYFUSS (E.), Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre).

DROUIN (Félix), Ingénieur, 122, rue de Courcelles, à Levallois-Perret (Seine).

DUBOIS (René), Professeur à l'École Turgot, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques. Paris, 5ᵉ.

DU BOIS (Dʳ E.-H.), Professeur à l'Université, Schiffbauerdamm, 21, à Berlin N. W. (Allemagne).

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg. Paris, 7ᵉ.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 39, avenue de Breteuil. Paris, 7ᵉ.

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Fabut (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7 et 9, rue d'Abbeville. Paris, 10ᵉ.

DUCOTTÉ, Ingénieur électricien, 1, rue de la Paix, à Lyon (Rhône).

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5ᵉ.

DUFFOUR, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan (Landes).

DUFOUR (Henri), Professeur de Physique à l'Université de Lausanne (Suisse).

DUFOUR, Agrégé préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5ᵉ.

DUHEM (P.), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

DUJARDIN (P.-J.-R.), Héliographe, 28, rue Vavin. Paris, 6ᵉ.

DUMOULIN-FROMENT, Ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 9ᵉ.

DUPOUY (Dʳ Raoul), Chargé de Cours à la Faculté de Médecine de Bordeaux (Gironde).

DUPONT (Charles), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DURAND (Dʳ Ernest), Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5ᵉ.

DURAND, Professeur au Lycée de Mostaganem (Algérie).

DUSSAUD, Ancien Député, Professeur à l'École de Mécanique de la Ville de Genève, 16, rue Dancet, à Genève (Suisse), et 160, boulevard Pereire. Paris, 17ᵉ.

MM.

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon (Côte-d'Or).

DUTOIT (Dr **Constant**), Docteur ès sciences, Professeur, 3, avenue de Georgette, à Lausanne (Suisse).

DVORAK (Dr **Vincent**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12e.

EBEL, Ingénieur en chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes. Paris, 17e.

EDELBERG (**Alexandre**), Ingénieur opticien à Kharkoff (Russie).

EGINITIS (**Basile**), Élève à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

ÉGOROFF (**Nicolas**), Sous-Directeur de la Chambre centrale des Poids et Mesures, 19, Zabalkansky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ÉGOROFF (**Serge**), Directeur de l'École commerciale de Tomsk (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 4, rue Rabelais. Paris, 8e.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville (Somme).

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 2, rue Rosa-Bonheur. Paris, 15e.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 50, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

FABRY (**Charles**), Professeur à la Faculté des Sciences, 4, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

FAIVRE-DUPAIGRE (**Jules**), Inspecteur d'Académie, 95, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

FARGE (**Émile**), Professeur au Lycée de Roanne (Loire).

FAURE (**Henri**), Ingénieur de la Marine, à Bizerte (Tunisie).

FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7e.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FERNET (**Émile**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

FERRA (**C.-J.**), Directeur du Service météorologique de l'Indo-Chine, à Haïphong (Tonkin).

FIGUIER (Dr **Alban**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux (Gironde).

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 58, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

FONTAINE, Chimiste, 203, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

FORTIN (**Charles**), 59, rue Claude-Bernard, 5e.

FOUCHÉ (**Ed.**), Ingénieur, 19, avenue de Clichy, Paris, 17e.

FOURNIER (le Dr **Albain**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson-de-Sailly, 106, rue de la Pompe. Paris, 16e.

MM.

FOUSSEREAU, Docteur ès sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

FOVEAU DE COURMELLES (le Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

FREDET (**Henri**), Industriel à Brignoud (Isère).

FRÉMONT (Dr), rue du Geôle, à Caen (Calvados).

FROC (le R. P.), à l'observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres. Paris, 6e.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

GAILLARD (**Pierre**), Professeur au Lycée, 1, rue de Côte, à Roanne (Loire).

GAILLARD (**Léon**), Élève à l'École d'Électricité, 92, rue du Cherche-Midi. Paris, 6e.

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine. Paris, 6e.

GALIMARD, Industriel, à l'abbaye de Flavigny (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie impériale des Sciences, Fontaka, 144, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (**Henri**), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

GALLOTTI, Professeur au Lycée d'Orléans (Loiret).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Nevers (Nièvre).

GARBE, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers (Vienne).

GARDET (**Alfred**), Censeur du Lycée de Besançon (Doubs).

GARÉ (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

GARNUCHOT, Professeur honoraire du Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun (Seine-et-Marne).

GASCARD (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine et de Pharmacie, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

GAUMONT, Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch. Paris, 1er.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins. Paris, 6e.

GAUTIER (**P.**), Constructeur d'instruments de précision, Membre du Bureau des Longitudes, 56, boulevard Arago. Paris, 13e.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 14, rue François-Henri, aux Prés-Saint-Gervais (Seine).

GAY (**Jules**), Professeur honoraire au Lycée Louis-le-Grand, Examinateur d'admission à l'École militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6e.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Duffour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

MM.

GEITLER (Dr **Josef-Ritter von**), Professeur Deutsche Universitat de Prague (Autriche).

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi. Paris, 14e.

GENEST (**Eugène**), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers (Maine-et-Loire).

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières. Paris, 18e.

GERARD (**Eric**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 35, rue Saint-Gilles, à Liége (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 80, rue d'Assas. Paris. 6e.

GHEURY (**Maurice-Edouard-Joseph**), Lieutenant au long cours, 23, Downshire Hill, Hampstead, Londres N. W. (Angleterre).

GHESQUIER (l'abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 12, rue Notre-Dame-des-Victoires, à Roubaix (Nord).

GILLES (**A.**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 11, rue Michelet. Paris, 6e.

GIRARD (**Charles**), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité. Paris, 4e.

GIRARDET, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

GIRARDIN (l'abbé **Maurice**), Professeur de Physique, 124, rue de la Station, à Mouscron (Belgique).

GIRAULT, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 19, rue Denfert-Rochereau. Paris, 5e.

GIROUX (**Lucien**), Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 19, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

GIVERT (**Arthur**), Professeur au Lycée, 3 *bis*, rue de Nemours, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GODART (**Léon**), Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Saint-Louis, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

GODART, Professeur au Collège, 4, rue Notre-Dame-de-Bon-Secours, à Compiègne (Oise).

GODEFROY (l'abbé **L.**), Ancien professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODEFROY (**R.-E.**), Professeur à l'École Normale d'Instituteurs de la Seine, 10, rue Molitor. Paris, 16e.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 73, rue Crevier, à Rouen (Seine-Inférieure).

GODY (**G.**), Architecte du département des Travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOISOT (**Georges**), Ingénieur de la Société anonyme des anciens Établissements Parvillée frères et Cie, 10, rue Bélidor. Paris, 17e.

GOLAZ (**L.**), Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 25 *bis*, avenue de Montsouris. Paris, 14e.

MM.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLDSCHMIDT (**Robert**), Docteur ès sciences chimiques, 495, avenue Louise, à Bruxelles (Belgique).

GOLOUBITZKI (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GORSSE, Professeur au Collège Rollin, 19, rue Nollet. Paris, 17ᵉ.

GOSSARD (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet. Paris, 8ᵉ.

GOSSART (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux (Gironde).

GOUDEMANT (**Valéry**), Chargé de Cours au Lycée, 32, rue des Epéers, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

GOURÉ DE VILLEMONTÉE (**Gustave**), Docteur ès sciences, professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5ᵉ.

GOUY (**G.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

GRAETZ (**Léo**), Dʳ Phil., Professeur à l'Université, Arcisstrasse, 8, à Munich (Bavière).

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine, à Vierzon (Cher).

GRAMONT (**Arnaud de**), Docteur ès sciences physiques, 81, rue de Lille. Paris, 7ᵉ.

GRAU (**Félix**), Professeur au Lycée de Bar-le-Duc (Meuse).

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works Cº, Silvertown, Essex, à Londres (Angleterre).

GREFFE (**E.**), Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

GRÉHANT (Dʳ), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes. Paris, 12ᵉ.

GRIMALDI (**Giovan Petro**), Docteur ès sciences physiques, Directeur du Laboratoire et Professeur de Physique à l'Université Royale, 25, Via Androne, Catania, Sicile (Italie).

GRIPON, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GRIVAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Monplaisir, Lyon (Rhône).

GRIVOLAS (**Claude**), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Compagnie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 3ᵉ.

GROGNOT (**L.**), Ingénieur chimiste, 35, rue Saint-Lazare, à Saint-Ouen-l'Aumône (Seine-et-Oise).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 67, avenue Malakoff. Paris, 16ᵉ.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6ᵉ.

GUEBHARD (Dʳ **Adrien**), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes),

MM.

GUEORGUIEWSKY (Nicolas), Institut technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GUERBY (A.), Professeur en retraite, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUERBY, Professeur au Lycée, boulevard Fragonard, Annecy (Haute-Savoie).

GUÉRIN (Georges), Docteur en Médecine, Licencié ès sciences, 70, avenue Kléber. Paris, 16e.

GUÉROULT (Georges), Ancien Inspecteur des finances, Trésorier-Payeur général honoraire, 17, avenue de Breteuil. Paris, 7e.

GUERRE, Constructeur électricien, 53, rue de Villiers, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

GUILLAUME (Ch.-Ed.), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

GUILLET, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 158, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 43, rue du Rocher. Paris, 8e.

GUILLEMINOT, Docteur en Médecine, 13, chaussée de la Muette. Paris, 16e.

GUILLOZ (Dr Th.), Agrégé, Chef des travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 24, place de la Carrière, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUINARD (A.), Armurier, 8, avenue de l'Opéra. Paris, 1er.

GUINCHANT (J.), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 177, rue Saint-Jean, à Caen (Calvados).

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Hermite, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUTTON (Camille), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 40 *bis*, rue Gambetta, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUYE (Philippe-A.), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 3, Chemin des Cottages, à Genève (Suisse).

GUYE (Ch.-Ed.), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université, 41, route de Chêne, à Genève (Suisse).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université, 20, Missionsstrasse, à Bâle (Suisse).

HAGENBACH (Auguste), Privat-docent à l'Université, Breitestrasse, à Bonn-sur-Rhin, près Cologne (Allemagne).

HALE (Georges), Directeur de l'Observatoire, Yerkes observatory, University of Chicago, Williams Bay, Wisconsin (États-Unis).

HALLER (A.), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 86, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

HAMY (Maurice), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6e.

HANRIOT (Th.), Ancien recteur des Ardennes, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, 6, rue Pichon, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM.

HARKER (**Dr John-Allen**), The National Physical Laboratory, Jeddington Middlesex (Angleterre).

HARTL (Colonel), Attaché à l'Institut géographique militaire de Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (**Edgard**), Professeur à l'École navale, 88 *bis*, rue de Paris, à Brest (Finistère).

HEEN (**Pierre de**), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique, 9, rue Momilphe, à Liége (Belgique).

HEGER (**Paul**), Professeur de Physiologie, Institut Solvay (Parc Léopold), Bruxelles (Belgique).

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 7, rue de la Cerisaie. Paris, 4e.

HEMOT (**Alphonse**), Constructeur d'instruments de précision, 43, rue Tournefort. Paris, 5e.

HEMPTINNE (**Alexandre de**), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HENRY (**Édouard**), Professeur de physique au Lycée, 28, rue Capitaine-Lefort, à Lorient (Morbihan).

HENRY (**Aimé**), Professeur au Lycée, 22, rue Marlot, à Reims (Marne).

HENRY (**Victor**), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 13, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

HEPITES (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique à Bucarest (Roumanie).

HERMANN (**A.**), Libraire-Éditeur, 8, rue de la Sorbonne. Paris, 5e.

HERSCHOUN (**Alexandre**), Étudiant au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HERSE (**Charles-Alexandre**), Professeur au Collège, 12, rue du Beffroi, à Soissons (Aisne).

HERZOG, 15, avenue du Trocadéro. Paris, 16e.

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas I, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir. Paris, 10e.

HOMEN (**Théodore**), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 87, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

HOSTEIN, Proviseur du Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HOULLEVIGUE, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (Calvados).

HOWE (**Henry M.**), Professeur de Métallurgie à Columbia University, Columbia University, New-York City (États-Unis).

HUDELO, Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile. Paris, 4e.

HUET (**Ernest**), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob. Paris, 6e.

HURIEZ (**Louis-Stéphane**), Professeur au Lycée, 157, rue de Dunkerque, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de Brosses, à Dijon (Côte-d'Or).

MM.

HURMUZESCU (**Dragomir**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSSON (**Léon**), Directeur de l'*Eastern Extension Telegraph C°*, à Foochow (Chine).

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine. Paris, 9ᵉ.

IMBAULT (**G.**), Censeur du Lycée d'Oran (Algérie).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier (Hérault).

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

INFROT (**Charles**), Directeur du service de la radiographie de la Salpêtrière, 8, rue des Saints-Pères. Paris, 6ᵉ.

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

IZARN (**Joseph**), Professeur au Lycée Pascal, 34, rue Bansac, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

JACOBS (**Fernand**), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

JAMBART, Professeur au Lycée, 62, avenue Saint-Roch, à Valenciennes (Nord).

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 8, rue du Four. Paris, 6ᵉ.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon (Seine-et-Oise).

JARRE (**L.-M.**), Ingénieur électricien, anciennement attaché à la Maison Sautter, Harlé et Cⁱᵉ, 9, rue Louis-le-Grand. Paris, 2ᵉ.

JARRET, Opticien, 116, avenue de Suffren. Paris, 7ᵉ.

JAUBERT (**Georges**), Docteur ès sciences, 155, boulevard Malesherbes. Paris, 17ᵉ.

JAUMANN (**Dʳ Gustav**), Professeur de Physique à l'École Polytechnique, à Brünn (Autriche).

JAVAL (**Dʳ Émile**), Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7ᵉ.

JAVAL (**Jean**), 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7ᵉ.

JAVAUX (**Émile**), Administrateur-Directeur de la Société Gramme, 130, boulevard Pereire. Paris, 17ᵉ.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 11, rue Caulaincourt. Paris, 18ᵉ.

JEUNET, Ancien Professeur, 15, avenue de la Défense-de-Paris, à Puteaux (Seine).

MM.

JOANNIS (l'abbé **Joseph de**), Licencié ès sciences physiques et mathématiques, 7, rue Coëtlogon. Paris, 6e.

JOB, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

JOBIN (**A.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

JOLY (**Louis**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 66, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

JOSEPH (**Paul**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, à l'île d'Yeu (Vendée).

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15e.

JOUBIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

JOYEUX (**Eugène**), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres (Seine-et-Oise).

JUDIC, Ingénieur électricien, 2, rue des Lavandières-Sainte-Opportune. Paris, 1er.

JUNGFLEISCH (**E.**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 74, rue du Cherche-Midi. Paris, 6e.

KAPOUSTINE (**Théodore**), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KARPEN (**Vasilesco**), Ingénieur, Licencié ès Sciences, 6, rue Commailles. Paris, 7e.

KELVIN (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow, Netherhall, Largs, Ayrshire (Écosse), 15, Eaton Place, Londres, S. W. (Angleterre).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

KORDA (**Désiré**), Ingénieur chef du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue de Caumartin. Paris, 9e.

KOROLKOFF (**Alexis**), Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KOUSTOVSKY (**Mitrophan**), Professeur au gymnase russe, Russie Mariopol, mer d'Azow.

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux (Gironde).

KOWALSKI (**Joseph de**), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 150, avenue Wagram. Paris, 17e.

LACOUR (**Alfred**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17e.

MM.

LACROIX (**Paul**), Directeur de la Compagnie Universelle d'Acétylène, 36, rue de Châteaudun. Paris, 9ᵉ.

LAFAY, Capitaine, adjoint à l'atelier de précision, représentant la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin. Paris, 7ᵉ.

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès sciences physiques, Ingénieur électricien, 70, boulevard Magenta. Paris, 10ᵉ.

LAFLAMME (Mᵍʳ), Membre de la Société géologique de France, Recteur de l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAFONT (R. P. **Eugène**), S. J., C. I. L. Professeur de physique au collège Saint-François-Xavier, 10, Park St. Calcutta (Indes-Anglaises).

LAGRANGE (**Eugène**), Professeur de Physique à l'École Militaire, 60, Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (**Ulysse**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique et de Physique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences Industrielles, 16, boulevard de Strasbourg, à Toulouse (Haute-Garonne).

LAMBERT (**Pierre**), Ingénieur, 5, rue de la Tour-des-Dames. Paris, 9ᵉ.

LAMIRAND, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAMOTTE (**Marcel**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, 7, rue de Beaulieu, Chamalières (Puy-de-Dôme).

LANCE (Mˡˡᵉ), Préparatrice au Lycée Fénelon, 45, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6ᵉ.

LANCELOT (**J.**), Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine. Paris, 14ᵉ.

LANDRIN, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 127, boulevard Haussmann. Paris, 17ᵉ.

LANG (**Victor von**), Professeur à l'Université de Vienne (Autriche).

LANGEVIN, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 21, boulevard Saint-Marcel. Paris, 13ᵉ.

LANIÈS, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAPORTE, Ingénieur civil des Mines, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef des Travaux au Laboratoire central d'Électricité, 2, rue Saint-Simon. Paris, 7ᵉ.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet. Paris, 15ᵉ.

LAROCHE (**Félix**), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, 110, avenue Wagram. Paris, 17ᵉ.

LAROUSSE (**Auguste**), Professeur au Lycée, 6, place Jean-Desveaux, à Nevers (Nièvre).

LATOUR, Professeur honoraire, 6, chaussée Saint-Pierre, à Angers (Maine-et-Loire).

LAURENT (**Léon**), Ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6ᵉ.

LAURIOL (**Pierre**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 1, avenue de l'Observatoire. Paris, 6ᵉ.

LAVIÉVILLE (**Augustin**), 72, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

MM.

LAWTON (**George-Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'*Eastern Telegraph C°*, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LE BAYON (Dr), Chef du Laboratoire de Radiographie à la Clinique générale de Chirurgie, 5, place de l'Odéon. Paris, 6e.

LEBEDEW (**Jean**), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (**J.-A.**), Ancien Président de la Société chimique, 7, rue Amyot. Paris, 5e.

LEBLANC (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, avenue de Boufflers, villa Montmorency. Paris, 16e.

LE BON (Dr **G.**), 29, rue Vignon. Paris, 8e.

LECARME (**Jean et Louis**), Ingénieurs-Constructeurs, 118, rue de Vaugirard, Paris, 6e.

LECAT, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 7, rue Gustave-Courbet. Paris, 16e.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 7, rue du Regard. Paris, 6e.

LE CHATELIER (**Charles**), 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LECHER (Dr **Ernst**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LEDUC (**A.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

LEDUC (Dr **Stéphane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFEBVRE (**Eugène**), Professeur honoraire, 2, rue des Réservoirs, à Versailles et à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

LEFÈVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 20, avenue de Gigant, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFÈVRE (**Z.-H.-D.**), Préparateur de Physique au Lycée, 10, rue Frédéric-Petit, à Amiens (Somme).

LEJEUNE (Dr **Louis**), Médecin électricien, 1, rue des Urbanites, à Liége (Belgique).

LEMESLE, Professeur et Secrétaire de l'École de Médecine et de Pharmacie d'Angers (Maine-et-Loire).

LEMERAY (**Maurice**), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Ingénieur civil, 109 *bis*, rue Ville-ès-Martin, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

LEMOINE (**Émile**), Chef honoraire du Service de la vérification du gaz, 4, boulevard de Vaugirard, à Paris, 14e.

LEMOINE (**Constant**), Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

LEMOINE (**Georges**), Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 76, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

MM.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 72, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

LEMSTROM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LENOIR (**Léon**), Préparateur de Physique au Lycée, 53, rue Victor-Hugo, à Brest (Finistère).

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon (Rhône).

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

LERAY (le Rév. P. **Ad.**), Eudiste, Séminaire Saint-Gabriel, à Bains (Ille-et-Vilaine).

LERMANTOFF, Professeur de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse. Paris, 14e.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

LESAGE (**Auguste**), Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre).

LESOBRE, Professeur au Collège, 13, rue Créroulin, à Melun (Seine-et-Marne).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

LÉTANG (Dr **Marc**). 12, rue Desrenaudes. Paris, 17e.

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, à Conlie (Sarthe).

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, 124, rue de Cazault, à Alençon (Orne).

LEYMARIE, Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

LHUILLIER, Professeur au Lycée, 15, passage Saint-Yves, à Nantes (Loire-Inférieure).

LIBRARY OF UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA, à Philadelphie (États-Unis). Chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6e.

LIMB (**Claudius**), Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil de la Maison Gindre Frères et Cie de Lyon, 8, quai d'Occident, à Lyon (Rhône).

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 6e.

LOCHERER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère. Paris, 17e.

LOISELEUR, Chargé de cours de Sciences au Lycée, 11, rue Desfourniel, à Bordeaux (Gironde).

LOOSER (Dr **Gustave**), Professeur de Mathématiques et de Physique à l'École supérieure, Essen-sur-Ruhr, Huttropstrasse, 15 (Allemagne).

LOUGUININE (**W.**), Docteur honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKI (**Gennady**), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCAS (Le R. P. **J.-D.**), S. I., Professeur à la Faculté des Sciences, Collège Notre-Dame-de-la-Paix, à Namur (Belgique).

MM.

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tit Livio, Padoue (Italie).

LUGOL (**Paul**), Professeur au Lycée, 4, cité Chabrol, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

LUMIÈRE (**Auguste**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUMIÈRE (**Louis**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUSSANA (**Silvio**), Docteur ès sciences physiques, à l'Institut physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (**Gustave**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, Industriel, 22, rue Rochechouart. Paris, 9e.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MACH (Dr **ERNST**), Professeur de Physique à l'Université, XVIII, Hofstattgasse, 3, Vienne (Autriche).

MACK (**Ed.**), Ingénieur, Les Charmettes, à Lausanne (Suisse).

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MAIGRET (Dr), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MALDINEY (**J.**), Président de la Société de Photographie du Doubs, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

MALLAT (**R. P. Jean**), Professeur au Collège du Sacré-Cœur, Schembaganur, Présidence de Madras (Indes anglaises).

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger (Algérie).

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, 129, rue Solon, à Athènes (Grèce).

MAMY (**J.**), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers (Vienne).

MANEUVRIER, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches physiques, à la Sorbonne. Paris, 5e.

MANVILLE (**Octave**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

MARAGE (Dr), Docteur ès sciences, 14, rue Duphot. Paris, 1er.

MARCHIS, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux (Gironde).

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert. Paris, 16e.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine. Paris, 4e.

MARIE (Dr **Th.**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 11, rue de Rémusat, à Toulouse (Haute-Garonne).

MM.

MARSAL (**P.**), Professeur au Lycée, 27, rue Sigisbert-Adam, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MARTIN (**Georges**), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc (Meuse).

MARTINET (**E.**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet. Paris, 16e.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, 5, Grande-Rue, à la Flèche (Sarthe).

MARTINEZ (R. P. E.), Professeur de Physique au Colegio San Jose, Valladolid (Espagne).

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau Central météorologique, 176, rue de l'Université. Paris, 7e.

MASSE (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, place de l'Église-du-Vœu, à Nice (Alpes-Maritimes).

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

MASSON (**Louis**), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MASSOULIER, Professeur au Lycée, 30, boulevard Delorme, à Nantes (Loire-Inférieure).

MATHIAS (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, place Dupuy, à Toulouse (Haute-Garonne).

MATHIEU (**Louis**), Directeur de la Station œnologique de Bourgogne, à Beaune (Côte-d'Or).

MATHIEU (**Joseph-Louis**), Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient (Morbihan).

MAURAIN (**Charles**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes (Ille-et-Vilaine).

MAZEN (**Natalis**), Ingénieur du Service électrique des Chemins de fer de l'Ouest, 8, rue des Moines. Paris, 17e.

MELANDER, Préparateur à l'Université Skepparebrianten à Helsingfors (Finlande).

MENDELSSOHN (**Maurice**), Docteur en Médecine, Membre correspondant de l'Académie de Médecine, 49, rue de Courcelles. Paris, 8e.

MENIER (**Henri**), Ingénieur, 8, rue Alfred-de-Vigny. Paris, 8e.

MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard Van der**), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, Coupure, 131, à Gand (Belgique).

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes. Paris, 5e.

MERCANTON (**Paul-Louis**), Ingénieur électricien, 2, square de Georgette, à Lausanne (Suisse).

MERCIER (**R.**), Ingénieur-Électricien, Élève diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 20, rue Cujas. Paris, 5e.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne (Marne).

MESLANS (**Maurice**). 59, quai de la Baronnie, à Ablon (Seine-et-Oise).

MM.

MESLIN (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier (Hérault).

MESNAGER (**Augustin**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur des Canaux de la Ville de Paris, 182, rue de Rivoli. Paris, 1er.

MESTRE, Ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

MÉTRAL (**Pierre**), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10e.

METZ (**de**), Professeur à l'Université Saint-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges. Paris, 9e.

MEYER (**Dr Stefan**), Privat docent à l'Université Turkenstrasse, 3, à Vienne (Autriche).

MEYLAN (**Eugène**), Ingénieur, 23, boulevard du Montparnasse. Paris, 6e.

MEYNIER, Professeur au Lycée de Cherbourg (Manche).

MICHAUT (**Victor**), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 1, rue des Novices, à Dijon (Côte-d'Or).

MICHEL (**Auguste**), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICKS (**Richard**), Professeur au Gymnase communal, à Trieste (Autriche).

MICULESCU (**Constantin**), Professeur à l'Université, 3, Strada Spatarului à Bucarest (Roumanie).

MILLARD (**John-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat (Ille-et-Vilaine).

MILLIS (**John**) Major, Corps of Engineers, United States army, U.-S. Engineers office, Seattle State, of Washington (U. S. A.).

MISERY (**Charles-Gustave**), Ingénieur civil, 15, rue de la Fontaine-du-Gué, à Deuil (Seine-et-Oise).

MITKEWITCH (**Wladimir**), Assistant de Physique à l'Institut des Mines à Saint-Pétersbourg (Russie).

MIX (**Edgar-W.**), Ingénieur électricien, 12, boulevard des Invalides. Paris, 7e.

MOESSARD, Lieutenant-Colonel du Génie, 189, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

MOINE, Préparateur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MOLTENI (**A.**), Ingénieur, 15, rue Origet, à Tours (Indre-et-Loire).

MONNIER (**D.**), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 3, impasse Cothenet, et 22, rue de la Faisanderie. Paris, 16e.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée Hoche, 5, rue Montebello, à Versailles (Seine-et-Oise).

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon (Rhône).

MONTEFIORE (**Levi**), Ingénieur, Sénateur du Royaume de Belgique, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MM.

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Grand-Bourg (Creuse).

MONTHIERS (**Maurice**), 50, rue Ampère. Paris, 17ᵉ.

MORE (**Louis Trenchard**), Ph. D., Professeur de Physique à l'Université de Cincinnati, Cincinnati (Ohio) (U. S. A.).

MOREAU (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Saint-Hélier, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MOREUX (l'abbé **Th.**), Professeur de Physique à l'École Saint-Célestin, à Bourges (Cher).

MORIN (**Pierre**), Professeur au Lycée, 40, rue Barathon, à Montluçon (Allier).

MORIN (**F.**), Docteur en Médecine, place Lamoricière, à Nantes (Loire-Inférieure).

MORIZE (**Henri**), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Astronome à l'Observatoire, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, Rua Princeza Imperial, n° 20. Antigo, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

MORIZOT, Chargé du Cours, au Lycée de Chaumont (Haute-Marne).

MOSER (Dʳ **James**), Privat docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/1 (Autriche).

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, r. Dantzig (5, pass. Dantzig). Paris, 15ᵉ.

MOULIN (**Honoré**), Capitaine au 26ᵉ d'Artillerie, 59, rue Bobillot, au Mans (Sarthe).

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste, Chef du Service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSETTE (**Ch.**) Ingénieur chimiste, 73, boulevard Suchet. Paris, 16ᵉ.

MUHLL (**K. von der**), Professeur ordinaire de Physique mathématique à l'Université de Bâle (Suisse).

MUIRHEAD (**Alexandre**), F. C. S., Sherborne Lodge, Sportlands Kent (Angleterre).

MULLER (**Paul**), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences 1, rue Grainville, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MULLER (**Victor**), Professeur au Lycée, 32, faubourg de Breuil, au Puy (Haute-Loire).

MYCHKINE, Professeur de Physique à l'Institut agronomique de Nowoya Alexandria (Russie).

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin. Paris, 5ᵉ.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers. Paris, 3ᵉ.

NAGAOKA (**H.**), Docteur ès Sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

NAMBA MASSASHI, Professeur à l'Université de Kioto (Japon).

NEGREANU (**D.**), Professeur à l'Université, 21, Strada Popa-Rusu, à Bucarest (Roumanie).

NERDEUX (**Léon-Jean**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Blainville. Paris, 5ᵉ.

MM.

NERVILLE (de), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8ᵉ.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans (Loiret).

NICOLAIEVE (Wladimir de), Colonel d'Artillerie, professeur à l'École militaire Paul, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NODON (Albert), Ingénieur-conseil, 69, rue Madame. Paris, 6ᵉ.

NOÉ (Charles), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet. Paris, 5ᵉ.

NOGUÉ (Émile), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6ᵉ.

NORDMANN (Ch.), Licencié ès Sciences, à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon (Seine-et-Oise).

NOTHOMB (Louis), Professeur de Télégraphie technique à l'École de Guerre, à Bruxelles (Belgique), Hôtel de France, à Saint-Pétersbourg (Russie).

OFFRET (Albert), Professeur de Minéralogie à l'Université, Villa Sans-Souci, 53, Chemin des Pins, à Lyon (Rhône).

OGIER (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7ᵉ.

OLIVIER (Louis), Docteur ès Sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 22, rue du Général-Foy. Paris, 8ᵉ.

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 2, rue Manuel. Paris, 9ᵉ.

ONDE, Professeur au Lycée Henri-IV, 41, rue Claude-Bernard. Paris, 5ᵉ.

OSMOND (Floris), Ingénieur civil, 83, boulevard de Courcelles. Paris, 8ᵉ.

OUMOFF (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

OZENNE (L.-P.), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 42, boulevard Magenta. Paris, 10ᵉ.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 58, rue de Turenne, à Lille (Nord).

PALAZ (Adrien), Docteur ès Sciences, Professeur d'Électricité industrielle à l'Université de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

PALMADE (F.), Chef de bataillon au Génie, Chef du Dépôt central de la Télégraphie militaire, 51 *bis*, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7ᵉ.

PAQUIER (Marc), Constructeur mécanicien, 68, rue du Cardinal-Lemoine. Paris, 5ᵉ.

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PATTE (Lucien), Professeur au Lycée, 12, rue Louis-Joblot, à Bar-le-Duc (Meuse).

PALVIDÈS (Démosthènes), Docteur en Médecine.

PAULSEN (Adam-Frédéric-Vivet), Directeur de l'Institut météorologique de Copenhague (Danemark).

MM.

PAYN (**John**), Directeur de l'*Eastern Telegraph C°*, au Caire (Égypte).

PAYRARD (**Henri**), Censeur du Lycée de Bourges (Cher).

PÉLABON (**H.**), Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

PELLAT (**H.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, successeur de Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

PELISSIER (**Eugène**), Maître de Conférences à l'Institut national agronomique, Professeur à l'École coloniale, 5, rue Sainte-Beuve. Paris, 6e.

PERNIN (**René**), 60, rue des Tournelles. Paris, 3e.

PEROT (**Alfred**), Directeur du Laboratoire d'Essais au Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin. Paris, 3e.

PÉROUX (**E.**), Capitaine d'Infanterie de Marine en retraite, 11, rue Camus, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).

PERREAU, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon, Bregille Besançon (Doubs).

PERRIER (Lieutenant), État-major de l'Armée, service géographique, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

PERRIN (**Jean**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris, 18, boulevard Arago. Paris, 13e.

PESSEMESSE, Professeur au Lycée de Coutances (Manche).

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PETIT (**Paul**), Professeur au Lycée de Foix (Ariège).

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée, 13, rue de Strasbourg, à Nantes (Loire-Inférieure).

PÉTROFF, Professeur à l'Institut technologique, Directeur du Département des Chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT, Ingénieur-Opticien, 31, quai des Grands-Augustins. Paris, 6e.

PEYRUSSON (**Édouard**). Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, 17, chemin Petit-Tour, à Limoges (Haute-Vienne).

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut physique, Halbartgasse, 1, Gratz (Autriche).

PHASMANN (**Augustin**), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

PHILIPPE (**A.**), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges (Cher).

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement (Physique) de la Sorbonne, villa Denise, 20, rue Imbergères, à Sceaux (Seine).

PICARD (**Frédéric**), Docteur en médecine, Villa Rivoire, à Cannes (Alpes-Maritimes).

MM.

PICOU (**R.-V.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand. Paris, 17e.

PILLEUX, Ingénieur électricien, villa d'Alésia, 5, 111 *bis*, 111 *ter*, rue d'Alésia. Paris, 14e.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Denfert-Rochereau, à Grenoble (Isère).

PIROT (l'abbé), Professeur à l'Institution Sainte-Marie, à Bourges (Cher).

PISCA (**Michel**), Ingénr des Arts et Manufactures, 152, rue Marcadet. Paris, 18e.

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 10, rue de Babylone. Paris, 7e.

POINCARÉ (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 63, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

POINCARÉ (**Lucien**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 130, rue de Rennes. Paris, 6e.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens (Somme).

POLLAK-WSCIEKLICA (Mme **Marcella**). Licenciée ès sciences physiques, 14, boulevard de Lesseps, à Versailles (Seine-et-Oise).

POLLARD (**Jules**), Directeur de l'École d'Application du Génie maritime, 140, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

POMEY (**J.-B.**), Ingénieur des Télégraphes, 33, rue de Coulmiers. Paris, 14e.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram. Paris, 17e.

PONSOT (**A.**), Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 26, rue Gustave-Courbet. Paris, 16e.

POPOFF (**Alexandre**), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (**Victor**), ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

POPPER (**Josef**), Ingénieur-Constructeur de machines, Seidengasse, 31, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur des services électriques à la Société normande d'Électricité, 7, rue Henri-Barbet, à Rouen (Seine-Inférieure).

POUTEAUX, Constructeur à Bellefond, près Dijon (Côte-d'Or).

POZZI-ESCOT (**E.**), Chimiste, 23, rue de Jéricho, à Malzeville (Meurthe-et-Moselle).

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers (Maine-et-Loire).

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), au Musée polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PRETORIANO (**Marin**), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

MM.

PRIEUR (Albert), Industriel, 76, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

PUPIN, Docteur en Médecine, 27, quai de la Tournelle. Paris, 5e.

PUYFONTAINE (Comte de), 38, avenue Friedland. Paris, 8e.

QUEFFELLEC (Auguste), Licencié ès Sciences, Professeur à l'École Saint-Joseph, rue Solférino, à Lille (Nord).

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis. Paris, 14e.

RADIGUET, Opticien-Constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire. Paris, 3e.

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers (Nièvre).

RANQUE (Paul), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion. Paris, 5e.

RAU (Louis), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin. Paris, 17e.

RAVEAU (Camille), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 2, rue du Sommerard. Paris, 5e.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

RAYMOND (Eugène), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

RECHNIEWSKI (W.-C.), Ingénieur électricien, 1, avenue de l'Alma, Paris, 8e.

RECOURA (Albert), Doyen de la Faculté des Sciences, 12, rue Pelletier-de-Chambure, à Dijon (Côte-d'Or).

RÉGNARD (Dr P.), Membre de l'Académie de Médecine, Directeur de l'Institut agronomique, 222, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

RENARD (Charles), Colonel du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon (Seine-et-Oise).

RENAULT (Albert), Chimiste, 6, rue de Lunain. Paris, 14e.

REVOY, Professeur au Lycée Gay-Lussac, 25, avenue des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).

REY PAILHADE (J. de), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse (Haute-Garonne).

RIBAN (Joseph), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, Professeur à l'École des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas. Paris, 6e.

RIBIÈRE (Charles), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 13, rue de Siam. Paris, 16e.

RICARD (Dr E.), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen (Lot-et-Garonne).

RICHARD (Jules), Ingénieur-Constructeur, 25, rue Mélingue. Paris, 19e.

RICHET (Ch.), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université. Paris, 7e.

RIEFFEL (A.), 19, boulevard Gambetta. Nice (Alpes-Maritimes).

RIGOLLOT (Henri), Chargé de Cours de Physique industrielle à l'Université, 43, chemin des Grandes-Terres, à Lyon (Saint-Just) (Rhône).

MM.

RILLIET, Professeur à l'Université, 16, rue Bellot, à Genève (Suisse).

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

RIVIÈRE, Docteur en Médecine, 25, rue des Mathurins. Paris, 9e.

ROBERT (**A.-C.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 54, rue du Four. Paris, 6e.

ROCHEFORT (**Octave**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Capron. Paris, 18e.

RODDE (**Ferd.**), 61, rue Rochechouart. Paris, 9e.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8e.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay (Marne).

ROGOWSKY (**Eugène**), Professeur au Collège Vassiliewski Ostrow, 14e ligne, n° 23, log. 12, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROJESTWIWSKI (**Dmitri**), Laborant à l'Institut de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

ROLLAND (**Étienne**), Professeur au Lycée, 32, route de Bordeaux, à Poitiers (Vienne).

ROMILLY (**Paul Worms de**), Inspecteur général des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8e.

ROPIQUET, Pharmacien, à Corbie (Somme).

ROQUES (**Dr C.**), Aide de clinique électrothérapique à la Faculté de Médecine, 29, rue Saint-François, à Bordeaux (Gironde).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'Usine Poirrier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien (Seine-et-Oise).

ROSSET (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Alboni. Paris, 16e.

ROTHÉ (**Edmond**), Agrégé Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

ROTHSCHILD (baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

ROUBAULT, Professeur au Lycée d'Angoulême (Charente).

ROUDET, Professeur au Collège, 4, place Nationale, à Villefranche (Aveyron).

ROUMAILLAC, Docteur en Médecine, à Captieux (Gironde).

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Saint-Étienne (Loire).

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur-Conseil, Directeur du Bureau de Contrôle des installations électriques, 12, rue Hippolyte-le-Bas. Paris, 9e.

ROYCOURT (**Eugène**), Constructeur électricien, successeur de M. Bonetti, 69, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont. Paris, 5e.

RYKATCHEFF (Général), Directeur de l'observatoire de Physique Central Nicolas, Wassiliewski Ostrow, 33, ligne n° 2, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

SACERDOTE (Paul), Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Professeur agrégé au Collège Sainte-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

SADOWSKY (Alexandre), Professeur à l'Université impériale de Physique, à Juriew (Russie).

SAGNAC (Georges), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 13, place Simon-Vollant, à Lille (Nord).

SAID (Dj. Mehmeh), Ingénieur attaché technique à l'Ambassade de Turquie. à Paris, 106, boulevard Arago. Paris, 14e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie parisienne du Gaz, 73, rue Berthier. Paris, 17e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 19, rue de Téhéran. Paris, 8e.

SAINTIGNON (F. de), Maître de forges à Longwy (Meurthe-et-Moselle).

SAIVRE (Maurice de), Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 52, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

SALADIN (Édouard), Ingénieur civil des Mines, chez MM. Schneider et Cie, au Creusot (Saône-et-Loire).

SALLES (Adolphe), 1, rue Rabelais. Paris, 8e.

SALMON, Professeur au Lycée, 15, rue du Mûrier-d'Espagne, à Nîmes (Gard).

SAMAMA DE CHIKKI (A.), rue Sidi-Sofian, à Tunis (Tunisie).

SANDOZ (Albert), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud. Paris, 5e.

SANTAIS (l'Abbé), Professeur à l'Institut ecclésiastique à Yvetot (Seine-Inférieure).

SANTERRE, 2, quai Malaquais. Paris, 6e.

SARASIN (E.), Docteur ès Sciences, Grand Saconnex, à Genève (Suisse).

SARDING (Jean-Marie-Auguste), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).

SARRAN (E.), Professeur au Lycée, 79, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde).

SARRAZIN, Professeur à l'École des Arts et Métiers et à l'École de Médecine, 8, rue Saint-Serge, à Angers (Maine-et-Loire).

SARRAU, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, Professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 12, quai Henri-IV. Paris, 4e.

SAUTTER (Gaston), Ingénieur, 26, avenue de Suffren. Paris, 15e.

SAUVAGE (E.), Postes et Télégraphes, à Tourane (Annam).

SCHAFFERS (R. P. Victor), S. J., Docteur ès sciences physiques et mathématiques, Professeur au Collège de la Compagnie de Jésus, 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).

SCHILLER (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHÜRR, Professeur au Lycée, route de Clermont, à Montluçon (Allier).

SCHWEDOFF, Professeur de Physique, Recteur de l'Université d'Odessa (Russie).

MM.

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Breguet, 15, rue Bizet. Paris, 16e.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

SECRÉTAN (**G.**), Ingénieur-Opticien, 13, place du Pont-Neuf. Paris, 1er.

SECRETARY OF THE BOARD OF EDUCATION, Londres W. C. (Angleterre).

SÉGUIN, Recteur honoraire, 27, rue Chaptal. Paris, 9e.

SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart. Paris, 16e.

SEMENOFF (**J.**), 75, rue de la Tour. Paris, 16e.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

SERPOLLET, Ingénieur, 11, rue de Stendhal. Paris, 20e.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac. Paris, 7e.

SIEGLER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie des Chemins de fer de l'Est, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

SIEGLER (**Jean**), Élève Ingénieur des Mines, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

SIGALAS (Dr **C.**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 67, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes. Paris, 6e.

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Université Léopole, Duglosza, 8, rue Léopole-Lemberg (Autriche).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SORBIER (**J.**), Professeur au Collège de Bône (Algérie).

SORET (**Adrien**), Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre (Seine-Inférieure).

SORET (**Ch.**), Professeur à l'Université, 8, rue Beauregard, à Genève (Suisse),

SPRING (**W. V.**), Membre de l'Académie Royale, Professeur à l'Université, 32, rue Beckmann, à Liége (Belgique).

STACKELBERG (baron **Édouard de**). Reval Dom Ritterhaus (Russie).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

STCHEGLAYEF (**Woldemar**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, Place Ossoxine, Maison Britneff, log. t, n° 11, à Cronstadt (Russie).

STIASSNIE (**Maurice**), Opticien, 204, boulevard Raspail. Paris, 14e.

STRAUSS (**S.**), Lieutenant-Colonel, Chef du Génie, 2, rue Ronchaux, à Besançon (Doubs).

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 56, rue de Londres. Paris, 9e.

MM.

SULZER (**E.-C.**), Docteur en Médecine, 22, rue de Tocqueville. Paris, 17e.

SWYNGEDAUW (**R.**), Maître de Conférences à l'Institut de Physique, 1, rue des Fleurs, à Lille (Nord).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome (Italie).

TAILLEFER (**André**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte. Paris, 6e

TANGL (**Charles**), Docteur de l'Université, Karepesi utera 80, à Budapest, (Hongrie).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Secrétaire général de la Société météorologique de France, Directeur de l'observatoire de Météorologie dynamique de Trappes, 82, avenue Marceau. Paris, 8e.

TEPLOFF (**N.**), Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir-Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval (Mayenne).

THÉNARD (le baron **Arnould**), chimiste-agronome, 6, place Saint-Sulpice. Paris, 6e.

THIESEN (Dr **Max**), Professeur Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 144, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres N.-W. (Angleterre).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes. Paris, 6e.

THOVERT, Docteur ès Sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, 70, rue Charlet, à Lyon (Rhône).

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel. Paris, 5e.

TISSOT, Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École Navale, 2, rue d'Aiguillon, à Brest (Finistère).

TOMBECK, Docteur ès Sciences, 59, boulevard Pasteur. Paris, 15e.

TONARELLI, Professeur au Lycée de Chambéry (Savoie).

TORCHEBEUF (**Ch.**), Constructeur d'instruments de Physique, 15, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

TOUANNE (**G. de la**), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon. Paris, 6e.

TOUREN (**Charles**), Professeur au Lycée de Caen (Calvados).

TOURRIOL (**Jean**), Professeur au Lycée de Quimper (Finistère).

TRIPIER (Dr), 8, rue Vignon. Paris, 9e.

MM.

TRIPIER, Ingénieur Électricien, 110, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TOUPOT (J.-E.), Curé de Robert-Espagne (Meuse).

TSCHERNING (Dr Marius), Directeur du Laboratoire d'Opthalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières. Paris, 6e.

TULEU (Charles), Ingénieur, 58, rue d'Hauteville. Paris, 10e.

TURPAIN (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 4, rue Vauvert, à Poitiers (Vienne).

UCHARD (A.), Chef d'escadron d'Artillerie, 10, rue de Redon, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

ULLMANN (Jacques), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis. Paris, 10e.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (New South Wales).

VAGNIEZ (Édouard), 14, rue Lemercier, à Amiens (Somme).

VAN DER WAALS. Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

VANDEVYVER-GRAU (L.-N.), Docteur ès sciences, Professeur à l'Université, 63, boulevard de la Citadelle, à Gand (Belgique).

VARENNE (de), 7, rue de Médicis. Paris, 6e.

VAUGEOIS (Jean-Georges), Ingénieur électricien à l'usine G.-B. Blot, Fabricant d'accumulateurs, 14, rue d'Issy, à Billancourt (Seine).

VASSEUR (Alfred), 87, boulevard d'Alsace-Lorraine, à Amiens (Somme).

VAUTIER (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

VAYSSIÈRES (Louis), Professeur au Lycée, 7, rue Antoine-Marty, à Carcassonne (Aude).

VEILLON (Henri), Docteur en Philosophie, Privat docent à l'Université, 27, rue Euler, à Bâle (Suisse).

VELTER (Jules), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue Falguière. Paris, 15e.

VENOT (Mlle Anne-Marie-Marguerite), Professeur agrégé des Sciences au Lycée de jeunes filles, 18, cours Lafayette, à Lyon (Rhône).

VERNIER (Victor), Professeur au Lycée, 44, rue de Berlier, Dijon (Côte-d'Or).

VERNIER, Maître Répétiteur au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

VICENTINI (Giuseppe), Professeur de Physique à l'Université de Padoue (Italie).

VIEILLE, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, Professeur à l'École Polytechnique, 12, quai Henri IV. Paris, 4e.

VIGNON (Léo), Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université, Institut de Chimie, rue de Béarn, à Lyon (Rhône).

VIGOUROUX (Dr Romain), Médecin de l'Institut municipal d'Électrothérapie à la Salpêtrière, 22, rue de Douai. Paris, 9e.

MM.

VILLARD (**P.**), Docteur ès Sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

VILLIERS (**Antoine**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

VINCENS (**Albert**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, 108, rue de la Tour. Paris, 16e.

VINCENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 207, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

VINCENT (l'Abbé), Professeur à l'Institution Saint-François-de-Sales, à Alençon (Orne).

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre. Paris, 14e.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur-Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles. Paris, 5e.

VLIET (**Van der**), Professeur de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup-de-la-Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur en Chef des Télégraphes, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

WAHA (**de**), Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALCKENAER, (**Charles**), Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

WALLON (**Étienne**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17e.

WEIL (**Albert**), Docteur, 151, boulevard Magenta. Paris, 10e.

WEINBERG (**Boris**), Privat docent de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

WEISS (Dr **Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16e.

WEISS (**Pierre**), Professeur à l'Institut de Physique de Zurich (Suisse).

WEISSMANN (**Gustave**), Ingénieur des Constructions civiles E.C.P., 47, rue de Boulainvilliers. Paris, 16e.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5e.

WEST (**Emile**), Ingénieur, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère. Paris, 17e.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille (Nord).

WOLF (**Charles**), Membre de l'Institut, Astronome honoraire de l'Observatoire, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue des Feuillantines. Paris, 5e.

MM.

WOLFF (Dr **Edmond**), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours (Indre-et-Loire).

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès Sciences, 20 *bis*, rue Chaptal. Paris, 9e.

WYROUBOFF (**G.**), Docteur ès Sciences, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

YVON (**P.**) Membre de l'Académie de Médecine, 26, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

ZAHM (le R. P. **J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 63, S. Martin, à Santiago (Chili).

ZETTER (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 3e.

ZILOFF (**Pierre**), Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

ZIMMERN (**A.**), Ancien Interne des Hôpitaux, 121, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

Mai 1903.

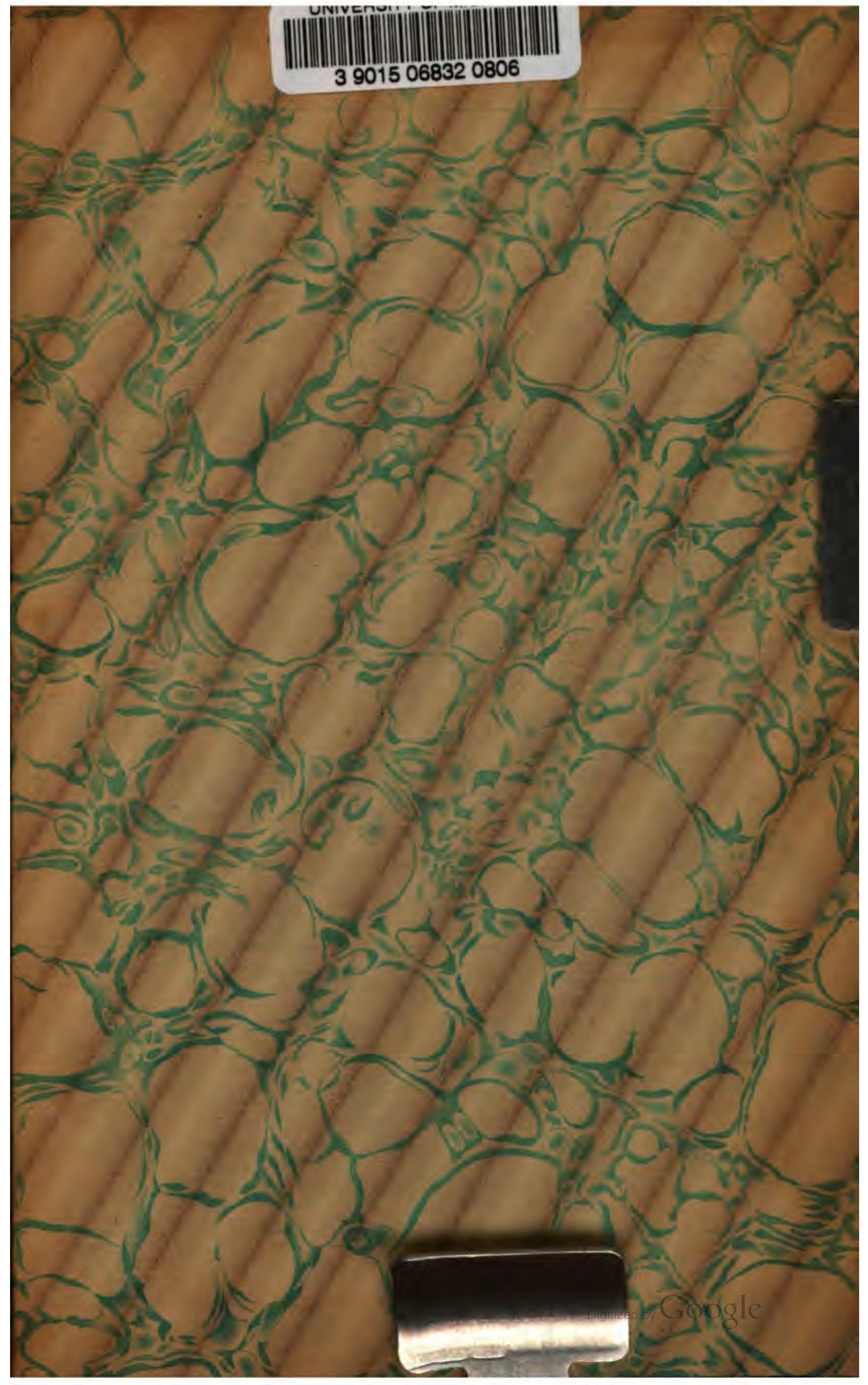
Prière d'adresser les rectifications et changements d'adresse à M. A. Sandoz, agent général de la Société, 11, rue Rataud (5e).

TABLE DES MATIÈRES.

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS.

32635 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.




UNIVERSITY OF MI
3 9015 06832 0806

